



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Diversidad de protozoos ciliados (Alveolata:  
Ciliophora) en la presa Piedra Azul y el arroyo que le  
abastece, Teotitlán del Valle, Oaxaca, México.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

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

**Erika Montserrat Vilchis Quintero**



**DIRECTORA DE TESIS:  
Dra. Alma Gabriela Islas Ortega**

**CDMX, México**

**2024**



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.

## **Agradecimientos académicos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por todas las oportunidades personales, académicas y profesionales que me brindó desde el bachillerato.

A la Dra. Alma Gabriela Islas Ortega, por el aprendizaje mutuo, por ser mi tutora de tesis, por sus revisiones y correcciones, y por compartirme muchos de los conocimientos que me llevaron a concluir este proyecto de manera satisfactoria.

A los miembros del jurado, los doctores Eberto Novelo Maldonado y Jaime Manuel Calderón Patrón, así como a las doctoras Patricia Bonilla Lemus y Mirza Patricia Ortega Olivares, por su revisión y valiosos comentarios a este trabajo.

A los doctores Rogelio Aguilar Aguilar y Gerardo Rivas Lechuga, por abrirme las puertas del taller y el Laboratorio de Zoología Acuática, en donde pude desarrollar mi proyecto de licenciatura y en donde, desde un inicio, me hicieron sentir bienvenida.

Al Dr. Raúl Contreras Medina y a la Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, por facilitar las instalaciones y los materiales necesarios para llevar a cabo las primeras revisiones de cada muestreo llevado a cabo en este trabajo.

Finalmente, gracias a Ingrid Paola Antonio Jasso y a Martín Rivas Beltrán, por su ayuda en la toma de muestras y fotografías, y por su apoyo con la identificación.

## **Agradecimientos personales**

A mi familia: mi madre, Rosa, por siempre dejarme ser y por el mundo de oportunidades que me ha brindado a través de su esfuerzo y su amor. A mi abuela, Virginia, por ser mi segunda madre y por cuidar de mí y de la familia siempre. A mi hermano, Armando, por ser mi primer amigo y la persona con la que aprendí a explorar el mundo. A Botas, por enseñarme sobre las distintas formas de amar.

A mis amigos: Pat, Esme, Shantal, Cris, Luisillo, Olmo, Froy, Roberto y Alexis. Gracias por estar a mi lado, por comprender mis ausencias y compartir las cargas y las risas. Su amistad me ha otorgado momentos de invaluable paz. Es gracias a ustedes que el equipaje de este viaje ha sido menos pesado.

A mi mejor amiga, Brenda. Gracias por inspirarme y por seguir aquí después de tantos años. Gracias por comprender las presiones, celebrar los triunfos y ser la luz en los momentos de oscuridad. Este logro lleva tu marca.

A Ingrid, por ser la mejor cómplice, compañera y amiga de la universidad. Nadie entendió este viaje como tú. Llevaré siempre conmigo las pláticas, las risas, las gomitas, los viajes y las tardes de pastes. Gracias por enseñarme sobre la fortaleza y la perseverancia.

A May, Carlitos, Sofi y Jabeth, por hacer los fines de semana tan divertidos y por las nuevas experiencias y amistades.

A Sofía Flores, por permitirme explorar otras facetas de mí que no sabía que me gustaban y por las oportunidades que me permitieron crecer.

A Thalía, mi terapeuta, a quien le expreso mi profundo agradecimiento por su guía experta y por el apoyo emocional que ha sido fundamental en este proceso académico y personal. Gracias por proporcionarme un espacio seguro para explorar mis pensamientos y emociones.

A la música que me acompañó en mis momentos de soledad y durante el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, gracias a todas las versiones de mí que estuvieron involucradas en este viaje académico. Gracias por resistir, pero, sobre todo, gracias por ser valiente y buscar ayuda cuando lo necesitamos.

## **Dedicatoria**

*A ti, en el futuro:  
recuerda siempre que la tenacidad es un superpoder.*

# Índice

<b>Resumen:</b> .....	1
<b>Abstract:</b> .....	2
<b>Introducción:</b> .....	3
<b>Reproducción:</b> .....	4
<b>Características ecológicas e importancia:</b> .....	4
<b>Sistemática y evolución:</b> .....	5
<b>Diversidad reconocida, distribución geográfica y proyecciones futuras:</b> .....	8
<b>Antecedentes:</b> .....	9
<b>Justificación:</b> .....	10
<b>Objetivos:</b> .....	10
<b>Objetivo general:</b> .....	10
<b>Objetivos particulares:</b> .....	10
<b>Materiales y métodos:</b> .....	11
<b>Área de estudio:</b> .....	11
<b>Toma de muestras:</b> .....	12
<b>Procesamiento de las muestras:</b> .....	14
<b>Identificación de especies:</b> .....	14
<b>Resultados:</b> .....	15
<b>Discusión:</b> .....	92
<b>Conclusiones:</b> .....	105
<b>Referencias bibliográficas:</b> .....	106

## Lista de tablas y figuras

**Tabla 1.** Resumen de la clasificación del grupo a nivel de *Phylum*, *subphylum* y clases

**Tabla 2.** Clasificación taxonómica de los ciliados registrados en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece

**Tabla 3.** Diversidad de especies en la presa Piedra Azul y el Arroyo que la abastece.

**Tabla 4.** Compendio de especies encontradas tanto en la presa como el arroyo a lo largo de cada muestreo.

**Figura 1.** Esquema de una célula ciliada ideal típica.

**Figura 2.** Municipio de Teotitlán del Valle, Oaxaca.

**Figura 3.** Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece en distintas épocas del año.

**Figura 4.** *Aspidisca* sp.

**Figura 5.** *Brachonella* sp.

**Figura 6.** Chilodonellidae gen sp.

**Figura 7.** *Cinetochillum* sp.

**Figura 8.** *Coleps elongatus*

**Figura 9.** *Coleps hirtus*

**Figura 10.** *Cyclidium* sp.

**Figura 11.** *Dexiotricha* sp.

**Figura 12.** Epistylididae gen. sp. 1

**Figura 13.** Epistylididae gen. sp. 2

**Figura 14.** *Euplotes woodruffi*

**Figura 15.** *Frontonia* sp. 1

**Figura 16.** *Frontonia* sp. 2

**Figura 17.** *Halteria* sp.

**Figura 18.** *Lacrymaria* sp.

**Figura 19.** *Lembadion* sp.

**Figura 20.** *Loxodes striatus*

**Figura 21.** *Metopus* sp.

**Figura 22.** *Paramecium bursaria* complejo

**Figura 23.** *Paramecium caudatum*

**Figura 24.** *Pyxicola* sp.

**Figura 25.** *Spirostomum subtilis*

**Figura 26.** *Spirostomum teres*

**Figura 27.** *Stentor roeselii*

**Figura 28.** *Stylonychia mytilus* complejo

**Figura 29.** *Tetmemena pustulata-vorax* complejo

**Figura 30.** *Thuricola* sp.

**Figura 31.** *Urocentrum turbo*

**Figura 32.** *Vaginicola* sp.

**Figura 33.** *Vorticella campanula*

**Figura 34.** *Vorticella convallaria* complejo

**Figura 35.** *Vorticella convallaria* var. *citrina*

**Figura 36.** *Vorticella* sp.



## Resumen:

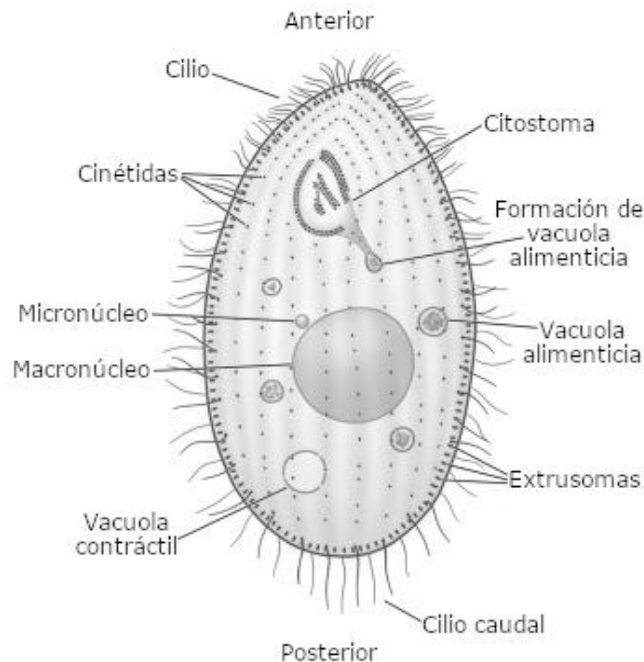
Los protozoos ciliados pertenecen al *phylum* Ciliophora, en el que se han descrito al menos 8,000 especies que forman un grupo monofilético. Son organismos eucariontes unicelulares que se caracterizan por poseer cilios en al menos alguna de las etapas de su ciclo de vida, tienen dos tipos de núcleo, se reproducen mediante conjugación, y poseen una capa cortical con una película y cinétidas. Los ciliados exhiben un amplio rango de estrategias alimenticias y pueden ocupar cualquier ambiente en presencia de agua. Constituyen una fracción importante de la biomasa planctónica y son importantes en la transformación y transferencia de nutrientes en las redes tróficas, además de que algunas especies son bioindicadores importantes. En México se han realizado algunos trabajos taxonómicos que involucran a estos microorganismos, sin embargo, son pocos los estados que se han muestreado con dicho propósito, por lo que la diversidad de ciliados en México puede estar siendo subestimada. Oaxaca es uno de los estados que albergan numerosas zonas y hábitats potencialmente favorables para el establecimiento de distintos taxa de ciliados, aunque no ha sido lo suficientemente explorado con tales fines. El objetivo de este estudio es describir taxonómicamente a las especies de ciliados de vida libre presentes en la Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, ubicados en Teotitlán del Valle, Oaxaca, así como aportar datos acerca de la diversidad de Ciliophora en México. Se realizaron cuatro muestreos en distintas épocas del año, en cada muestreo se obtuvieron tres muestras de agua del arroyo y tres muestras de agua de la presa. De las muestras obtenidas se realizaron preparaciones temporales (con y sin colorantes vitales) para las observaciones *in vivo*. Adicionalmente, se realizaron preparaciones permanentes para su posterior procesamiento con técnicas de impregnación plata “seco” de Klein y Hematoxilina de Harris. Se determinaron 33 morfoespecies de ciliados de vida libre, la gran mayoría de ellas son formas bacterívoras detritívoras, lo que sugiere que este grupo de procariotas son un componente importante en la presa y el arroyo. Factores como la estacionalidad y el enquistamiento promovieron la presencia-ausencia de las distintas morfoespecies en los muestreos. La mayor cantidad de morfoespecies de ciliados se registraron durante la temporada de lluvias de octubre, época que coincide con la fase de llenado de la presa. En el presente estudio se determinaron once especies de ciliados de vida libre. Adicionalmente se obtuvieron quince registros a nivel de género, tres a nivel de familia y cuatro complejos de especies. Cuatro de las especies descritas en este trabajo representan nuevos registros para el estado de Oaxaca, dos de las cuales además son nuevos registros para México y el continente americano. El presente trabajo aporta los primeros datos sobre la diversidad de Ciliophora en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece y contribuye al conocimiento de la diversidad de México y el continente americano.

## **Abstract:**

Ciliated protozoa belong to the phylum Ciliophora, a monophyletic group in which at least 8,000 species have been described. These single-celled eukaryotic organisms possess cilia at some stage of their life cycle, having two nuclei types and a cortical layer with a film and kinetids. A process of conjugation complements the reproduction. Ciliates exhibit a broad range of feeding strategies and can thrive in any water-based environment. They constitute a significant portion of the planktonic biomass, and their presence is crucial to guarantee nutrient transformation and transfer through food webs. Some species also are used as essential bioindicators. Although there are some taxonomic works concerning ciliates in Mexico, the actual diversity of these organisms has been severely underestimated. Oaxaca is one of the Mexican states with numerous areas and habitats suitable for diverse taxa of ciliates, which has yet to be thoroughly explored. This study aims to identify the free-living ciliate species present in the Piedra Azul Dam and the stream that supplies it, located in Teotitlán del Valle, Oaxaca, and provide data about the diversity of Ciliophora in Mexico. We conducted our samplings over one year. Temporary preparations (with and without vital stains) were made from the samples obtained for in vivo observations, and permanent preparations were made for subsequent processing with Klein's "dry" silver impregnation and Harris Hematoxylin techniques. Thirty-three free-living ciliates taxa were identified. Most of them are considered detritivorous-bacterivorous forms. According to our observations, the seasonality and encystment influence the presence of these morphospecies during the samplings. The highest morphospecies numbers were observed during the October rainy season, which coincides with the filling phase of the dam. In the present study, eleven free-living ciliates species were determined. Additionally, fifteen records were obtained at the genus level, three at the family level, and four species complexes. Four of the species described in this work represent new records for the state of Oaxaca, two of which are also new records for Mexico and the Americas. This study provides relevant information on the diversity of Ciliophora in the Piedra Azul dam and the stream that supplies it, contributing to our understanding of the diversity of Mexican bodies of water.

## Introducción:

Las especies pertenecientes al *Phylum* Ciliophora, son organismos unicelulares eucariontes que se caracterizan por poseer cilios -variables en número y disposición- en al menos alguna de las etapas de su ciclo de vida, dichas estructuras se originan de cinetosomas. Cuentan con dos tipos de núcleo: macronúcleo y micronúcleo -dimorfismo nuclear-, se reproducen mediante conjugación, y poseen una capa cortical con dos componentes: una película y cinétidas (Sanders, 2009; Mayén-Estrada *et al.*, 2014). La ciliatura es de dos tipos: somática y oral, y estas pueden exhibir distintos arreglos que dan como resultado la gran diversidad de especies que existen. Los cilios y su cinetosoma -cuerpos basales- se organizan en cinétidas. Las cinétidas somáticas permiten al organismo impulsarse en el agua, o escapar de depredadores, mientras que las cinétidas orales posibilitan la captura de alimentos (Lynn, 2006). Los cilios pueden formar una densa capa que cubre a toda la célula; o bien, ser poco numerosos, especialmente en las especies sésiles; éstos también pueden fusionarse para formar cirros (Sanders, 2009; Warren *et al.*, 2016). Poseen vacuolas contráctiles, un complejo de vesículas y canales, y también son comunes los extrusomas (Lynn, 2008). Su longitud se considera en micrómetros y pueden ser muy pequeños -especies de 10 micras- o muy grandes -especies de hasta 4500 micras- (Corliss, 1979).



**Figura 1: Esquema de una célula ciliada ideal típica.** Esquema modificado de Posch *et al.*, 2022.

- **Reproducción:**

En los ciliados se han observado procesos de reproducción sexual y asexual, siendo la reproducción asexual por fisión binaria la más observada, y, por tanto, la más estudiada. La fisión binaria es el mecanismo mediante el cual una célula parental se divide en dos células hijas -o clones- mediante citocinesis y cariocinesis, lo que puede conducir a un rápido crecimiento poblacional; además, en los individuos sésiles se ha documentado la gemación, por ello los clones son comunes (Lynn, 2008; Sanders, 2009; Mayén-Estrada *et al.*, 2014). La reproducción sexual -por conjugación- asegura la diversidad genética e incrementa la posibilidad de supervivencia. Ésta involucra el intercambio de núcleos gaméticos y consiste en el reconocimiento, interacción y fusión temporal de dos células de tipo complementario. Una vez que las células se fusionan, dentro del micronúcleo diploide sucede una división meiótica que da como resultado la producción de cuatro núcleos, tres de los cuales serán reabsorbidos por el citoplasma, mientras que el núcleo restante pasará por una división posmeiótica que derivará en un núcleo estacionario y uno migratorio. Entonces habrá un intercambio mutuo de núcleos migratorios, en donde el núcleo migratorio de un conjugante se fusiona con el núcleo estacionario del otro, lo que genera la recombinación genética. Finalmente, luego de la conjugación, las células se separan y el sincarión en cada exconjugante se divide nuevamente en dos núcleos hijos, uno de los cuales se convierte en el micronúcleo -o micrónúcleos- y otro en el macronúcleo, restableciendo así la condición nuclear de la especie, pues el macronúcleo original se desintegra durante el proceso de conjugación (Lynn, 2008; Posch *et al.*, 2022). Tanto la conjugación como la autogamia se suelen presentar cuando el organismo en cuestión carece de alimento, o bien, cuando hay cambios de luz, temperatura o pH, y se ha visto que algunas especies tienen la capacidad de producir quistes de protección (Lynn, 2008; Sanders, 2009).

- **Características ecológicas e importancia:**

Usualmente los ciliados son solitarios y de vida libre, no obstante, también pueden formar colonias o relaciones simbióticas de distintos tipos -mutualismo, comensalismo o parasitismo- (Corliss, 1979). La mayoría son móviles, aunque también hay especies que producen pedúnculos, loricas o matrices gelatinosas que se adhieren a sustratos (Sanders, 2009). Estos protozoos pueden ocupar distintos nichos en todo el mundo, que abarcan desde ambientes dulceacuícolas lénticos y lóticos, marinos, salobres, terrestres, aguas residuales y sitios con condiciones extremas como los glaciares y aguas termales.

Los ciliados exhiben diversas estrategias alimenticias -métodos mediante los cuales obtienen nutrientes y energía- en respuesta a una amplia gama entornos y variedad de alimentos disponibles en distintos hábitats; y aunque por lo general son heterótrofos, en algunas especies se ha observado mixotrofia, una condición que les permite obtener su alimento mediante múltiples fuentes al combinar estrategias autótrofas y heterótrofas (Stoecker *et al.*, 1988; Verni & Gualtieri, 1997; Macek *et al.*, 2006, 2008; Esteban *et al.*, 2010). Las estrategias de alimentación de los ciliados son clave al contribuir en el ciclo global de energía y en la transformación y transferencia de nutrientes en las redes tróficas, además actúan como reguladores poblacionales de bacterias y otros microbios. Estos microorganismos constituyen una fracción importante de la biomasa planctónica y algunas especies han demostrado ser útiles como bioindicadoras (Lynn y Gilron, 1992; Lynn, 2006; Weisse, 2017; Ravindran *et al.*, 2023).

- **Sistemática y evolución:**

En un principio el *Phylum* era denominado Infusoria, sin embargo, a principios del siglo XX ese nombre fue reemplazado por el actual: Ciliophora. Los ciliados formaban un linaje independiente hasta que en 1991 se propuso que los sacos membranosos que subyacen a la membrana plasmática (los alveolos), son una sinapomorfía o característica compartida derivada de un clado de protistas: Alveolata, en donde actualmente se agrupan tres grandes grupos -Ciliophora, Apicomplexa y Dinoflagellata-, así como varios grupos más pequeños -Chromerida, Colpodellida, Perkinsozoa, Acavomonidia y Colponemidia- (Lynn, 2008; Janouškovec *et al.*, 2010; Flegontov y Lukeš, 2012).

Actualmente, el *Phylum* Ciliophora forma un grupo monofilético dentro del supergrupo Alveolata, en donde se incluyen dos subphyla y once clases (Tabla 1) (Lynn, 2006; Adl *et al.*, 2019). Los registros fósiles, así como los estudios moleculares, sugieren que los ciliados surgieron hace más de 2000 millones de años a partir de un ancestro flagelado, y que posiblemente fueron el pináculo de la evolución de los eucariotas unicelulares antes de la aparición de los metazoos (Lynn, 2006, 2009).

**Tabla 1.** Resumen de la clasificación del grupo a nivel de *Phylum*, *subphylum* y clases de acuerdo con Lynn (2008).

<i>Phylum</i>	<i>Subphylum</i>	Clase
C i l i o p h o r a	Postciliodesmatophora	Karyorelictea Heterotrichea
	Intramacronucleata	Spirotrichea Armophorea Litostomatea Phyllopharyngea Nassophorea Colpodea Prostomatea Plagiopylea Oligohymenophorea

La mayoría de las especies de ciliados que se han descrito hasta la fecha, se incluyen en tres clases: Spirotrichea, Phyllopharyngea y Oligohymenophorea (Lynn, 2008).

Ha sido difícil establecer una definición aceptable de lo que constituye una especie en los ciliados (Warren *et al.*, 2017), por lo tanto, en ausencia de alternativas más pragmáticas o viables, el concepto de “morfoespecie” definido por Finlay *et al.* (1996) es el más ampliamente adoptado. Para estos autores, una morfoespecie puede entenderse como “una colección de formas que encajan todas en un intervalo definido de variación morfológica, formas que, hasta donde sabemos, ocupan el mismo nicho ecológico”.

Los caracteres morfológicos que se utilizan principalmente para distinguir entre los *taxa* de ciliados residen en la corteza, sin embargo, hay otras características no corticales que pueden ser de utilidad, tal es el caso de la apariencia nuclear. La corteza permite la interacción del organismo con su entorno, que, como se menciona anteriormente, en el caso de los ciliados, se puede dividir en una región somática y una región oral. La primera funciona en la locomoción, además de que proporciona cubiertas protectoras y respuestas defensivas, y permiten la unión al sustrato. La región oral, por su parte, participa en la captura de alimento e ingestión de nutrientes. Las características de ambas

regiones, y en particular los tipos y arreglos de las estructuras ciliares, son importantes en la caracterización de los ciliados (Lynn, 2008).

Los humanos han observado a estos microorganismos por miles de años, aunque no necesariamente hayan sido conscientes de ello (Herfort *et al.*, 2011). No fue sino hasta que Leeuwenhoek los observó por primera vez con un microscopio, que alguien fue capaz de reconocer que existían esta clase de seres vivos. Una vez que el uso de microscopios se volvió regular en los laboratorios en el siglo XIX, hubo una explosión en el estudio de los ciliados (Lynn, 2006).

Desde entonces, de acuerdo con Lynn (2008), la historia sistemática de los ciliados se ha dividido en cinco periodos: (1) la era de descubrimiento; (2) la era de la explotación; (3) la era de la infraciliatura; (4) la era de la ultraestructura y (5) la era del refinamiento. El progreso de cada uno de estos periodos surgió de la interacción entre puntos de vista conceptuales y el uso de nuevas tecnologías.

Las eras de descubrimiento y de explotación se caracterizaron por la observación de ciliados vivos a través del uso de microscopios, sin el uso de tinciones sofisticadas. Estos periodos permitieron la duplicación del número de los *taxa* superiores descubiertos (como Holotrichea y Spirotrichea) y ampliaron la comprensión de esta diversidad. Conceptualmente se enfocaban en las características de la ciliatura somática y oral, y se consideraba que la evolución de las formas más complejas se dio a partir de formas más simples (Lynn, 2008).

La era de la infraciliatura se vertebró a inicios del siglo XX a través de las descripciones de diferentes enfoques técnicos para usar plata con el fin teñir la corteza y otras estructuras de los ciliados: el método de plata seca de Klein y el método de plata húmeda de Chatton y Lwoff se desarrollaron en este periodo (Lynn, 2008). Además, se consideró que los patrones en la infraciliatura de los ciliados podían ser útiles para resolver problemas filogenéticos dentro del *Phylum*.

La era de la ultraestructura inició entre 1950 y 1960. Las técnicas de tinción predominantes en este periodo se llevaban a cabo con proteinato de plata de Bodian o protargol. No obstante, fue la microscopía electrónica la predilecta para resolver cuestiones sistemáticas y de biología celular de los ciliados, por lo que también en esta era se proponen las clasificaciones revisadas (Lynn, 2008). Además, las perspectivas dejaron de enfocarse únicamente en los caracteres celulares, sino que abogaban por prestar atención a características dentro de las células que pudieran ser igual de importantes para entender las relaciones filogenéticas entre estos protistas.

La era del refinamiento, también llamada la era de la diversidad genética, es un periodo en el que se comenzaron a realizar trabajos filogenéticos moleculares al emplear secuencias de genes de las

subunidades pequeñas y subunidades grandes del ARNr, secuencias altamente conservadas que permiten poner a prueba el conservadurismo estructural de la corteza somática ciliada (Lynn, 2008). Esta era persiste hasta la actualidad, aunque se busca una perspectiva integrativa para el estudio de estos microorganismos, por lo que todas las herramientas y enfoques de las eras anteriores se mantienen vigentes hasta este momento.

- **Diversidad reconocida, distribución geográfica y proyecciones futuras:**

A pesar de su relevante papel en los ecosistemas acuáticos, no se conoce completamente la evolución, funciones ecológicas o la diversidad total de ciliados que existen. Hasta la fecha se han identificado más de 8,000 especies (Liu *et al.*, 2022), por ello, se sabe de la existencia de una gran diversidad morfológica de ciliados, aunque se estima que podrían existir muchas más especies de las que actualmente se tiene un registro. Entre las especies que se conocen, al menos 200 son formas fósiles y cerca de 3000 son simbioses (Lynn, 2008). Definir el número total de especies ciliados que se conocen hasta el momento es complicado debido a que aún no se ha realizado un listado completo, se piensa que aún quedan muchas más por descubrir dado que existen varios nichos ecológicos que potencialmente pueden ocupar estos microorganismos y que no han sido explorados, además de que cabe la posibilidad de que algunos ciliados puedan encontrarse inactivos -enquistados- o ser raros -o poco abundantes o frecuentes- en muchos hábitats distintos (Weisse, 2017). De acuerdo con Esteban y Finlay (2007) las investigaciones de ciliados suelen ignorar a las especies raras y se enfocan en las más comunes. La mayoría de los estudios que se han llevado a cabo hasta el momento se enfocan en identificar especies conocidas y describir nuevos aislamientos abundantes, mientras que la observación y descripción de especies raras es escasa, sobre todo debido a la cantidad de tiempo que se requiere para las observaciones morfológicas y a la poca cantidad de agua que se analiza bajo el microscopio. Además, también se atribuye la baja probabilidad de encontrar especies raras a la escasez de taxónomos morfológicos de ciliados (Dunthorn *et al.*, 2014), lo que, de acuerdo con Warren *et al.* (2017), amenaza el progreso en el conocimiento de la biodiversidad y de la evolución de los ciliados.

Conocer la distribución geográfica de estos organismos ha resultado todo un reto debido a que se requiere del conocimiento de especies emblemáticas y la realización de análisis estadísticos, puesto que los estudios faunísticos son raros, al igual que los datos moleculares disponibles. Poco se sabe acerca de la biogeografía de los ciliados, sin embargo, la comunidad científica se ha dividido en dos escuelas con argumentos que se contraponen (Foissner *et al.*, 2007); están quienes sugieren un modelo



cosmopolita (Finlay *et al.*, 1996) y quienes apuntan a uno de endemidad moderada (Foissner, 1999, 2004).

Hoy en día se opta por una perspectiva integrativa para el estudio de ciliados, y para ello es necesaria la combinación de enfoques clásicos -la observación *in vivo* de la morfología, la fijación, la tinción y la morfometría de las células-, enfoques moleculares -que involucran marcadores moleculares- y enfoques que usan la estadística para delimitación de especies crípticas; además, también se llegan a considerar aspectos ecológicos y de comportamiento para la identificación de especies (Abraham *et al.*, 2019).

### **Antecedentes:**

De acuerdo con López-Ochoterena (1970), el estudio de ciliados en México inició en el año 1922 con una publicación por parte de Bravo-Hollis, con un trabajo de la especie *Chilodon cucullatus* (Müller, 1786), Kahl, 1931. Se estima que hasta el 2014, en el país se habían descrito aproximadamente 959 especies de ciliados (Mayén-Estrada *et al.*, 2014).

Hasta la fecha, en Oaxaca son pocos los estudios que involucren al grupo Ciliophora. Los primeros aislamientos de ciliados del estado fueron realizados por Hegner *et al.* (1940) y Lara-Aguilera y Bernal (1974) (ver Mayén-Estrada *et al.*, 2016), quienes registraron la presencia de *Balantidium coli* Malmsten, 1857, un organismo parásito y potencialmente peligroso para la salud humana. Posteriormente, Mariño-Pérez *et al.* (2011) identificaron dos géneros de suctores epibiontes de insectos acuáticos. Lagunas-Calvo *et al.* (2016) encontró al género *Trichodina* Ehrenberg, 1830 asociado a peces dulceacuícolas en la localidad “Los Ocotes” y la Presa Yosocuta; en 2018, Islas-Ortega *et al.* caracterizaron morfológica y molecularmente a la especie *Trichodina rectuncinata* Raabe, 1858 asociada a peces marinos en la localidad de Cuatunanco. Durán-Ramírez *et al.* (2015) y Cruz-Jiménez (2017), realizaron estudios respecto a la diversidad de ciliados de vida libre asociados a plantas, el primero enfocado a bromelias y el segundo a musgos. Méndez-Sánchez (2017) identificó mediante técnicas de tinción e impregnación 23 y 18 especies de ciliados de vida libre del Lago Anasco y la presa Azucena respectivamente. En el mismo año, Aristeo-Hernández realizó un trabajo taxonómico de ciliados asociados a la concha de moluscos bivalvos y gasterópodos en el Lago Anasco. Meraz y Rodríguez-Rafel (2019) registraron la presencia del ciliado *Mesodinium rubrum* (Lohmann, 1908) en un evento de marea roja no tóxica que sucedió durante los primeros meses de 2016 en la costa central de Oaxaca. Méndez-Sánchez *et al.* (2020) aislaron individuos de la especie *Euplotes octocarinatus* (Carter, 1972) de la Presa “el Estudiante” y realizaron una descripción morfológica

actualizada, además de proporcionar datos acerca de la filogenia y la biografía de la especie. El trabajo más reciente le corresponde a Rivas-Beltrán *et al.*, (2023), quien estudió la diversidad de ciliados presentes en los estanques de una granja piscícola en los valles centrales de Oaxaca.

Como se aprecia, la mayoría de los estudios son faunísticos y morfológicos, y generalmente se enfocan en la diversidad de ciliados asociados a otros organismos. Anterior a este trabajo, en el estado de Oaxaca se habían registrado 88 especies de ciliados.

## **Justificación:**

A pesar de que existen registros taxonómicos de ciliados en el estado de Oaxaca, aún quedan muchas localidades que no se han muestreado con el fin de conocer la diversidad de estos microorganismos. Los estudios con una perspectiva descriptiva-taxonómica son necesarios, pues brindan la posibilidad de ampliar el conocimiento que se tiene acerca de los organismos pertenecientes a este grupo, además de que abren la posibilidad de descubrir nuevas especies de las que anteriormente no se tenía información. Este tipo de trabajos se requieren tanto para la caracterización, como para tener una estimación mucho más certera y confiable del número total de especies de ciliados existentes en el mundo. Por ello, en el presente trabajo se realizó por primera vez un listado taxonómico de las especies de ciliados de vida libre que se encuentran en la Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, enriqueciendo de esta manera el conocimiento de la diversidad de especies de ciliados en México y particularmente en el estado de Oaxaca.

## **Objetivos:**

### **Objetivo general:**

Describir taxonómicamente a las especies de ciliados de vida libre presentes en la Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, ubicados en Teotitlán del Valle, Oaxaca. Así como aportar datos acerca de la diversidad de Ciliophora en México.

### **Objetivos particulares:**

1. Caracterizar morfológicamente a las especies de ciliados que habitan en la Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, y a partir de esta caracterización, realizar un listado taxonómico.
2. Comparar la riqueza de ciliados entre la Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece.
3. Integrar información morfológica de las especies de ciliados encontradas.

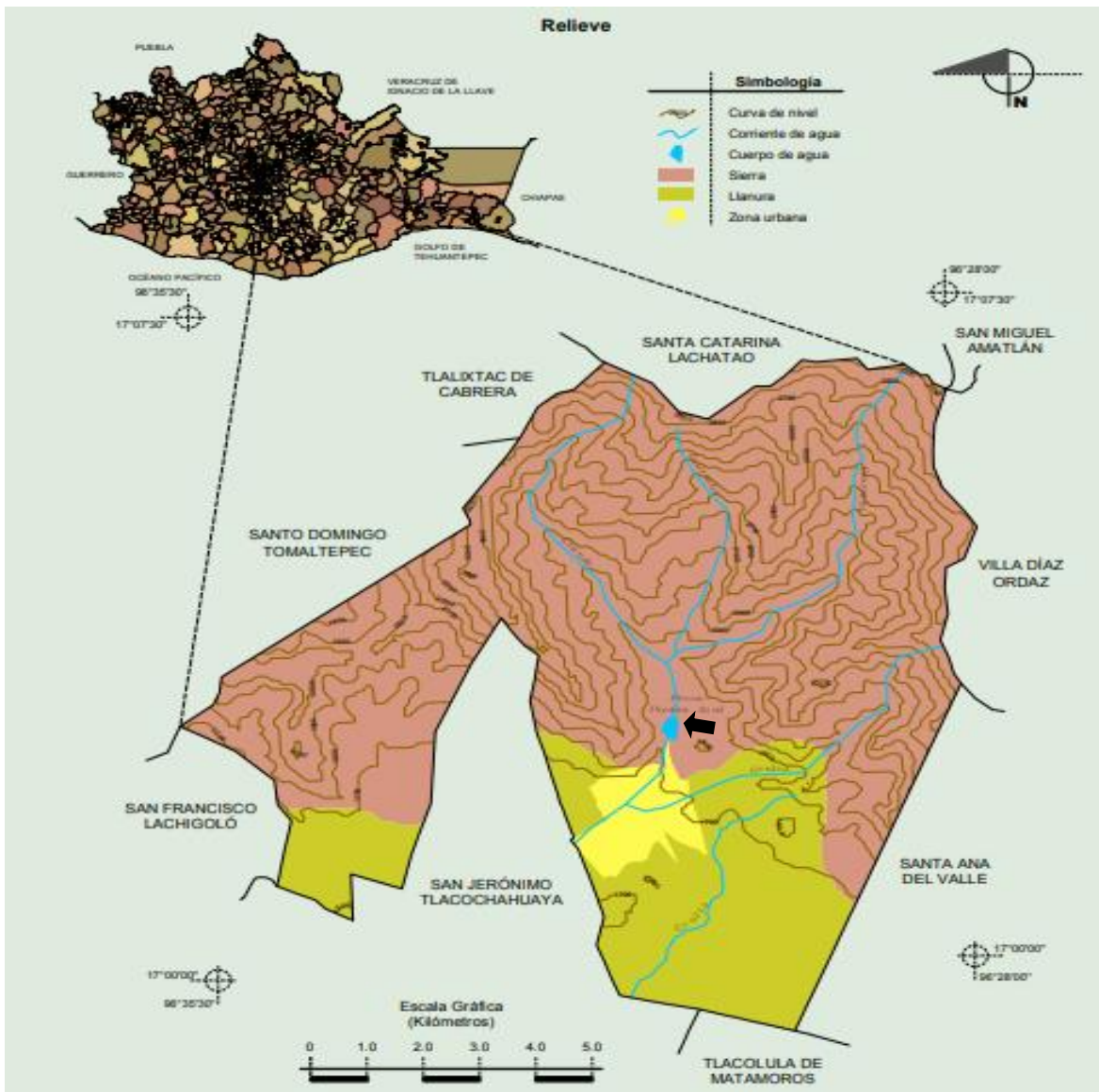
## **Materiales y métodos:**

### **Área de estudio:**

Las localidades muestreadas para este trabajo fueron la Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece (17.044629722809514, -96.51533782602525), ubicados en Teotitlán del Valle, Oaxaca (Fig. 1).

Teotitlán del Valle, perteneciente al municipio de Tlacolula, se encuentra a una distancia aproximada de 31 km de la ciudad de Oaxaca. Está a una altura de 1670 m sobre el nivel del mar, ubicado en las faldas de la Sierra de Juárez. De acuerdo con los datos proporcionados por el INEGI en 2010, el intervalo de temperatura de la zona es de 10 - 22°C, con un intervalo de precipitación de 600 - 1200 mm. El clima es semicálido y subhúmedo con lluvias en verano.

En Teotitlán del Valle las principales fuentes de abastecimiento de agua la conforman siete ríos: Río Grande, Gueu-Liaa, Guen-Dzu, Gue Duin, Lachuvi, Gue Ve-u y Gue Ya. El municipio también cuenta con la presa “Piedra Azul”, que es alimentada por el Río Grande, Shota Vizia, Gueu-slab, Gue Yuchi y Ruguimba. El agua de esta presa es usada para el riego, y, debido a la falta de mantenimiento y protección, no se encuentra operando en su totalidad (Antonio-González, s.f). La cortina de la presa es de aproximadamente 40 metros de largo. El fondo es arcilloso y en época secas el nivel del agua baja unos 12m (Lagunas-Calvo, 2014).



**Figura 2: Municipio de Teotitlán del Valle, Oaxaca, México.** La flecha negra muestra la ubicación de la Presa Piedra Azul en la región de Teotitlán del Valle. Tomado del *Compendio de información geográfica municipal 2010, Teotitlán del Valle, Oaxaca* (INEGI, 2010).

### **Toma de muestras:**

Se realizaron cuatro muestreos en distintas épocas del año (marzo, junio, octubre y diciembre) en la Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, localizados en Teotitlán del Valle, Oaxaca (17.044629722809514 N, -96.51533782602525 O) (Fig. 2). En cada uno de ellos se tomaron tres muestras de agua del arroyo (del sedimento, materia orgánica y del raspado de rocas) y tres muestras

de agua de la presa (de la orilla, de un raspado de rocas y de la cortina de agua que fluye). Todas las muestras fueron colocadas en un frasco de boca ancha con tapa, previamente etiquetado. El primer muestreo corresponde al mes de diciembre de 2021 (invierno), el segundo muestreo a junio de 2022 (verano), el tercer muestreo a octubre de 2022 (otoño) y el cuarto muestreo a marzo de 2023 (primavera).



**Figura 3: Presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece en distintas épocas del año.**

1) Presa Piedra Azul en primavera (marzo); 2) arroyo en primavera (marzo); 3) presa Piedra Azul en verano (junio); 4) arroyo en verano (junio); 5) presa Piedra Azul en otoño (octubre); 6) arroyo en otoño (octubre); 7) presa Piedra Azul en invierno (diciembre); 8) arroyo en invierno (octubre).

### **Procesamiento de las muestras:**

Las muestras fueron transportadas al laboratorio de Biología de la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, o bien, al Laboratorio de Zoología Acuática de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional Autónoma de México. Una vez en el laboratorio, se realizaron preparaciones temporales (con y sin colorantes vitales) que permitieron la observación *in vivo* de los ciliados con un microscopio de campo claro. Mediante estas observaciones se hicieron anotaciones acerca de las características físicas observables de los organismos, y se llevó a cabo un registro microfotográfico y de video (en algunos casos) mediante el uso del equipo de fotomicrografía Leica DM500®, con el sistema de imagen de captura Leica ICC50 HD®. Se obtuvieron aproximadamente 10 micrografías por microorganismo. Las mediciones (dependientes de cada organismo) se hicieron en micrómetros con ayuda del programa ImageJ (1.52a) y están basadas en las micrografías previamente capturadas.

Se prepararon algunos medios de cultivo a partir de infusiones de semillas de trigo, esto con el fin de aislar a algunos organismos y fijarlos exitosamente. Las muestras permanentes se fijaron mediante bouin, formol (al 2% o al 5% según sea el caso), albúmina de Mayer o adhesivo de Haupt. Posteriormente, a las preparaciones resultantes se les realizó técnicas de tinción y/o impregnación para resaltar algunas características de importancia taxonómica (como la impregnación con plata “seco” de Klein o Hematoxilina de Harris).

### **Identificación de especies:**

Se observaron las estructuras de importancia taxonómica para cada taxón analizado. Algunas de estas estructuras son la disposición ciliar y de cirros, el número de cirros, la posición y número de vacuolas, la cantidad de cinetias, la forma y disposición del macronúcleo y el número de micronúcleos.

El análisis se llevó a cabo mediante la observación *in vivo* de las muestras a diferentes objetivos dependiendo del tamaño de la célula, y se apoyó con el registro microfotográfico y las técnicas de tinción y/o impregnaciones realizadas. Se tomó en cuenta tanto la forma de la célula, la longitud, la anchura y el tamaño de distintos organelos (dependientes del organismo que se evaluó). La información obtenida mediante estas observaciones se comparó con la literatura especializada disponible hasta el momento: claves taxonómicas, trabajos monográficos previos, artículos con perspectiva taxonómica y libros especializados.

La edición de fotografías se llevó a cabo mediante el programa Fotos de Microsoft Corporation (2023.10030.27002.0) y, finalmente, la realización de esquemas y figuras se llevó a cabo mediante el programa GIMP (2.10.34).

## Resultados:

Se determinaron once especies de ciliados de vida libre. Adicionalmente se obtuvieron quince registros a nivel de género, tres a nivel de familia y cuatro complejos de especies. Cuatro de las especies descritas en este trabajo representan nuevos registros para el estado de Oaxaca, dos de las cuales además son nuevos registros para México y el continente americano. Asimismo, se registró la presencia de tres complejos de especies y de morfoespecies pertenecientes a los *taxa* Epistylididae, *Frontonia*, *Pyxicola*, *Tetmemena*, *Thuricola*, *Vaginicola*, grupos que no habían sido previamente registrados en el estado de Oaxaca (Tabla 2).

La mayor cantidad de taxones registrados se clasifican dentro del *Subphylum* Intramacronucleata, clase Oligohymenophorea, subclase Peritrichia. Mientras que los miembros del *Subphylum* Postciliodesmatophora fueron más escasos.

La ubicación taxonómica que se muestra a continuación está basada en Lynn (2008).

**Tabla 2.** Clasificación taxonómica de los ciliados registrados en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece siguiendo el esquema de Lynn (2008).

- 
- Phylum* Ciliophora Doflein, 1901
    - Subphylum* Postciliodesmatophora Gerassimova y Seravin, 1976
      - Clase Karyorelichea Corliss, 1974
        - Orden Loxodida Jankowski, 1980
          - Familia Loxodidae Bütschli, 1889
            - Género *Loxodes* Ehrenberg, 1830
              - Loxodes striatus*** (Engelmann, 1862) Penard, 1917
    - Clase Heterotrichea Stein, 1859
      - Orden Heterotrichida Stein, 1859
        - Familia Spirostomidae Stein, 1867
          - Género *Spirostomum* Ehrenberg, 1834
            - Spirostomum teres*** Claparède y Lachmann, 1858
            - Spirostomum subtilis*** Boscaro *et al.*, 2014 \*\*
      - Familia Stentoridae Carus, 1863
        - Género *Stentor* Oken, 1863
          - Stentor roeselii*** Ehrenberg, 1835
- Subphylum* Intramacronucleata Lynn, 1996
  - Clase Spirotrichea Bütschli, 1889

- Subclase Hypotrichia Stein, 1859
    - Orden Euplotida Small y Lynn, 1985
      - Suborden Euplotina Jankowski, 1979
        - Familia Aspidiscidae Ehrenberg, 1830
          - Género *Aspidisca* Ehrenberg, 1830
            - Aspidisca* sp.**
        - Familia Euplotidae Ehrenberg, 1838
          - Género *Euplotes* Ehrenberg in Hemprich y Ehrenberg, 1831
            - Euplotes woodruffi* Gaw, 1939 \*\***
  - Subclase Stichotrichia Small y Lynn, 1985
    - Orden Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961
      - Familia Halteriidae Claparède y Lachmann, 1858
        - Género *Halteria* Dujadin, 1841
          - Halteria* sp.**
      - Familia Oxytrichidae Ehrenberg, 1830
        - Género *Stylonychia* Ehrenberg, 1830
          - Stylonychia mytilus* complejo \***
        - Género *Tetmemena* Eigner, 1999
          - Tetmemena pustulata-vorax* complejo \***
- Clase Armophorea Lynn, 2004
  - Orden Armophorida Jankowski, 1964
    - Familia Metopidae Kahl, 1927
      - Género *Brachonella* Jankowski, 1964
        - Brachonella* sp.**
      - Género *Metopus* Claparède y Lachmann, 1858
        - Metopus* sp.**
- Clase Litostomatea Small y Lynn, 1981
  - Subclase Haptoria Corliss, 1974
    - Orden Haptoria Corliss, 1974
      - Familia Lacrymariidae de Fromentel, 1876
        - Género *Lacrymaria* Bory de St. Vincent, 1824
          - Lacrymaria* sp.**
- Clase Phyllopharyngea de Puytorac, Batisse, Bohatier, Corliss, Deurox, Didier, Dragesco, Fryd-Versavel, Grain, Grolière, Hovasse, Iftode, Laval, Roque, Savoie y Tuffrau, 1974
  - Subclase Cyrtophoria Fauré-Fremiet en Corliss, 1956
    - Orden Chlamyodontida Deroux, 1976
      - Familia Chilodonellidae Deroux, 1970
        - Chilodonellidae gen. sp.**
- Clase Protostomatea Schewiakoff, 1896
  - Orden Prorodontida Corliss, 1974
    - Familia Colepidae Ehrenberg, 1838
      - Género *Coleps* Nitzsch, 1827
        - Coleps elongatus* (Ehrenberg, 1830) Khal, 1930 \*\***
        - Coleps hirtus* (Müller, 1786) Nitzsch, 1827**
- Clase Oligohymenophorea de Puytorac, Batisse, Bohatier, Corliss, Deroux, Didier, Dragesco, Fryd-Versavel, Grain, Grolière, Hovasse, Iftode, Laval, Roque, Savoie y Tuffrau, 1974
  - Subclase Peniculia Fauré-Fremiet en Corliss, 1956
    - Orden Peniculida Fauré-Fremiet en Corliss, 1956
      - Familia Frontoniidae Kahl, 1926
        - Género *Frontonia* Ehrenberg, 1838



- Frontonia sp. 1* \***  
***Frontonia sp. 2* \***
- Familia Lembadionidae Jankowski en Corliss, 1979  
Género *Lembadion* Perty, 1849  
***Lembadion sp.***
- Familia Parameciidae Dujardin, 1840  
Género *Paramecium* Müller, 1773  
***Paramecium bursaria complejo***  
***Paramecium caudatum*** Ehrenberg, 1833
- Orden Urocentrida Jankowski, 1980  
Familia Urocentridae Claparède y Lachmann, 1858  
Género *Urocentrum* Nitzsch, 1827  
***Urocentrum turbo*** (Müller, 1786) Nitzsch, 1827
- Subclase Peritrichia Stein, 1859  
Orden Sessilida Kahl, 1933  
Familia Epistylididae Kahl, 1933  
**Epistylididae gen. sp. 1 \***  
**Epistylididae gen. sp. 2. \***
- Familia Vaginicolidae de Fromentel, 1874  
Género *Pyxicola* Kent, 1882  
***Pyxicola sp.* \***  
Género *Thuricola* Kent, 1881  
***Thuricola sp.* \***  
Género *Vaginicola* Lamarck, 1816  
***Vaginicola sp.* \***
- Familia Vorticellidae Ehrenberg, 1838  
Género *Vorticella* Linnaeus, 1767  
***Vorticella campanula*** Ehrenberg, 1831  
***Vorticella convallaria complejo* \***  
***Vorticella citrina*** (Müller 1773) Fauré-Fremiet, 1904\*\*  
***Vorticella sp.***
- Subclass Scuticociliatia Small, 1967  
Orden Philasterida Small, 1967  
Familia Cinetochilidae Perty, 1852  
Género *Cinetochillum* Perty, 1849  
***Cinetochillum sp.***
- Familia Loxocephalidae Jankowski, 1964  
Género *Dexiotricha* Stokes, 1885  
***Dexiotricha sp.***
- Familia Cyclidiidae Ehrenberg, 1838  
Género *Cyclidium* Müller, 1773  
***Cyclidium sp.***

\*\*Nuevo registro para el estado de Oaxaca

\*Nuevo registro para México

\*Miembros de taxa que no habían sido registrados previamente en Oaxaca

**Tabla 3.** Diversidad de especies en la presa Piedra Azul y el Arroyo que la abastece.

Especie	Arroyo	Presa
<i>Aspidisca</i> sp.	x	x
<i>Brachonella</i> sp.		x
Chilodonellidae gen. sp.	x	x
<i>Cinetochilum</i> sp.	x	x
<i>Coleps elongatus</i>	x	x
<i>Coleps hirtus</i>	x	x
<i>Cyclidium</i> sp.	x	x
<i>Dexiotricha</i> sp.	x	
Epistylidae gen. sp. 1	x	
Epistylidae gen. sp. 2	x	
<i>Euplotes woodruffi</i>	x	x
<i>Frontonia</i> sp. 1	x	x
<i>Frontonia</i> sp. 2		x
<i>Halteria</i> sp.	x	x
<i>Lacrymaria</i> sp.		x
<i>Lembadion</i> sp.	x	x
<i>Loxodes striatus</i>	x	x
<i>Metopus</i> sp.	x	x
<i>Paramecium bursaria</i> complejo		x
<i>Paramecium caudatum</i>	x	x
<i>Pyxicola</i> sp.	x	
<i>Spirostomum subtilis</i>	x	x
<i>Spirostomum teres</i>	x	x
<i>Stentor roeselii</i>	x	x
<i>Stylonychia mytilus</i> complejo	x	x
<i>Tetmemena-pustulata-vorax</i> complejo	x	x

<i>Thuricola</i> sp.	x	
<i>Urocentrum turbo</i>	x	x
<i>Vaginicola</i> sp.	x	
<i>Vorticella campanula</i>	x	x
<i>Vorticella convallaria</i> complejo	x	x
<i>Vorticella convallaria</i> var. <i>citrina</i>		x
<i>Vorticella</i> sp.	x	x
Total	28	27
Exclusivas	6	5

**Nota.** De las 33 especies totales que se registraron en la localidad, 22 se comparten entre el arroyo y la presa.

**Tabla 4.** Compendio de especies encontradas tanto en la presa como el arroyo a lo largo de cada muestreo.

Especie	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4	
	Arroyo	Presa	Arroyo	Presa	Arroyo	Presa	Arroyo	Presa
<i>Aspidisca</i> sp.		x	x	x	x	x	x	x
<i>Brachonella</i> sp.				x				x
Chilodonellidae gen. sp.	x		x		x	x	x	x
<i>Cinetochilum</i> sp.					x			x
<i>Coleps elongatus</i>	x		x		x	x		
<i>Coleps hirtus</i>	x		x	x	x		x	x
<i>Cyclidium</i> sp.			x	x		x	x	
<i>Dexiotricha</i> sp.			x					
Epistylidae gen. sp. 1			x					
Epistylidae gen. sp. 2					x			
<i>Euplotes woodruffi</i>	x	x	x		x	x		
<i>Frontonia</i> sp. 1	x	x	x		x	x		
<i>Frontonia</i> sp. 2								x
<i>Halteria</i> sp.		x			x	x	x	x
<i>Lacrymaria</i> sp.						x		
<i>Lembadion</i> sp.	x					x		
<i>Loxodes</i> sp.	x	x	x		x	x		x
<i>Metopus</i> sp.		x	x					x
<i>Paramecium bursaria</i> complejo						x		
<i>Paramecium caudatum</i>		x	x	x		x	x	x
<i>Pyxicola</i> sp.	x				x			
<i>Spirostomum subtilis</i>	x							x
<i>Spirostomum teres</i>	x	x	x	x	x	x	x	x

<i>Stentor roeselii</i>	x	x	x		x	x		
<i>Stylonychia mytilus</i> complejo	x						x	x
<i>Tetmemena-pustulata-vorax</i> complejo		x	x	x			x	
<i>Thuricola</i> sp.					x			
<i>Urocentrum turbo</i>	x				x	x		
<i>Vaginicola</i> sp.								x
<i>Vorticella campanula</i>					x	x	x	x
<i>Vorticella convallaria</i> complejo	x	x	x	x			x	
<i>Vorticella convallaria</i> var. <i>citrina</i>				x				
<i>Vorticella</i> sp.					x	x	x	
<b>Total individual</b>	14	11	16	9	17	19	12	13
<b>No. de especies exclusivas</b>	8	5	9	2	5	7	5	6
<b>No. de especies compartidas</b>		6		7		12		7
<b>Total general</b>		19		18		24		18

**Notas.** La mayoría de especies se registró durante el tercer muestreo (octubre 2022), es decir, durante la temporada de lluvias; mientras que en el primer (diciembre 2021), segundo (junio 2022) y cuarto muestreo (febrero 2023) se registraron una cantidad de especies muy similar.

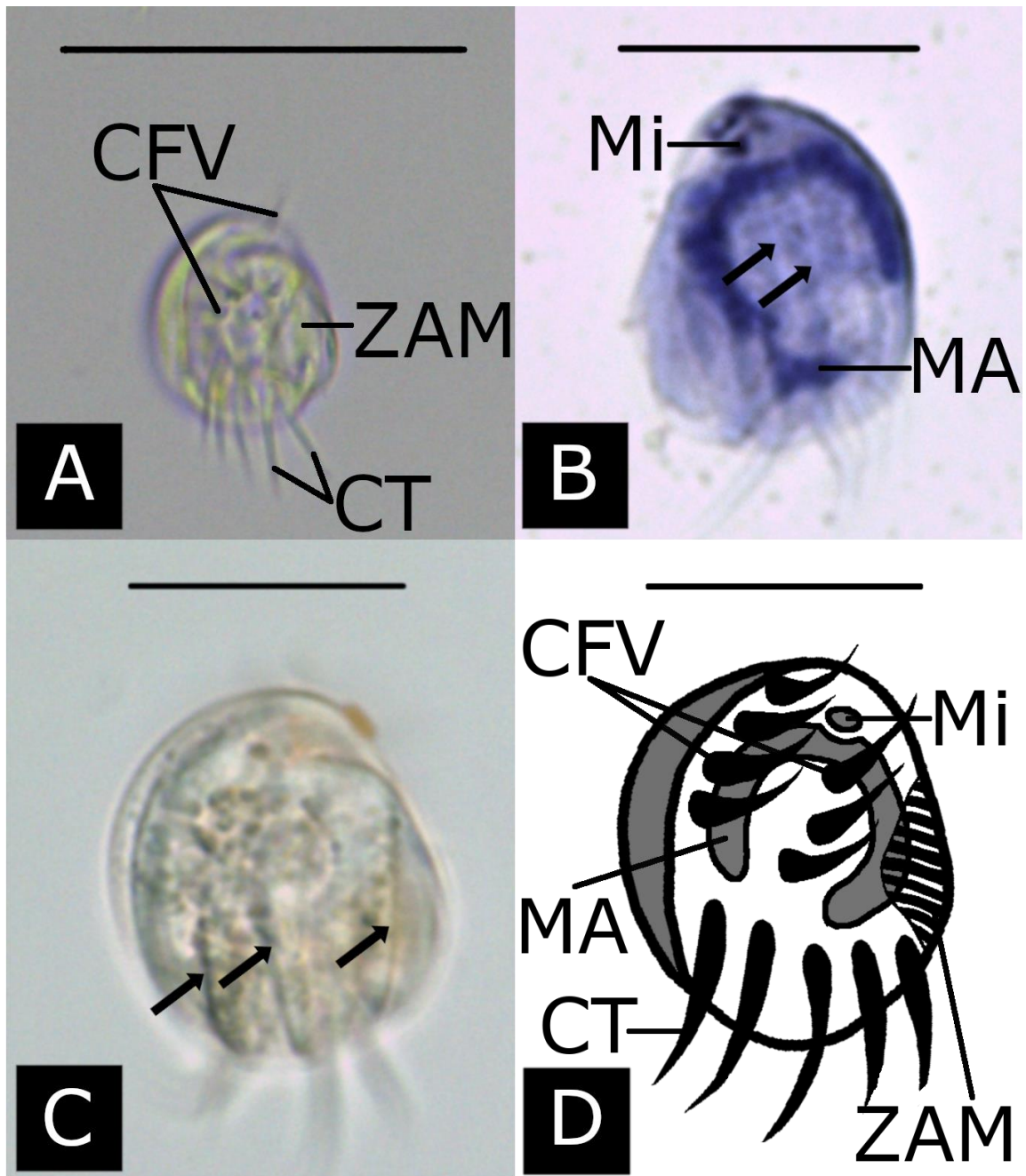
A continuación, se muestran las descripciones morfológicas de los ciliados registrados, así como algunas consideraciones taxonómicas. Las medidas proporcionadas corresponden a los intervalos de medición de los organismos y sus distintas estructuras, a excepción de los casos en donde sólo se pudo medir un único individuo, en cuyo caso se presenta la medición exacta.

## 1. *Aspidisca* sp.

**Descripción.** Cuerpo pequeño y rígido, mide 25.615 – 27.061  $\mu\text{m}$  de largo por 20.642 – 25.263  $\mu\text{m}$  de ancho; células aplanadas ventralmente; zona adoral de membranelas posicionada en la parte central de la región frontal, muy cercana a los cirros transversos (Fig. 4A y 4D); región dorsal con surcos o “costillas” (Fig. 4B y 4C); presenta cirros dispuestos en dos grupos: frontoventrales y transversales; macronúcleo en forma de “C”, con un micronúcleo pequeño y esférico posicionado a un lado (Fig. 4C y 4D). Movimiento rápido, usualmente arrastrándose entre la materia orgánica.

**Comentarios.** De acuerdo con Wu y Curds (1979), los caracteres taxonómicos más importantes para identificar al género *Aspidisca* son: las características del aparato nuclear, el número y la distribución de los cirros, la forma del cuerpo (incluyendo la presencia de costillas o de cuernos) el sistema de líneas de plata en la parte dorsal del cuerpo, la zona adoral de membranelas, el tamaño del cuerpo y el hábitat. No obstante, bajo ciertas condiciones de crecimiento, algunas características pueden variar en número o en tamaño entre distintas poblaciones (Huang *et al.*, 2010).

Anteriormente Méndez-Sánchez (2017) registró la presencia de *A. lynceus* (Müller, 1773) Ehrenberg, 1831 y *Aspidisca* sp. en las localidades Lago Analco y Presa la Azucena respectivamente. Además, recientemente, Rivas-Beltrán *et al.*, (2023) registraron la presencia de *Aspidisca* sp. en los estanques de una granja piscícola ubicada en los valles centrales de Oaxaca. Los intervalos de tamaño de los individuos de la localidad de Piedra Azul caen dentro de los intervalos presentados en el trabajo de Méndez-Sánchez (2017) para ambas especies de *Aspidisca* encontradas con anterioridad en el estado, las cuales, además, presentaron siete cirros frontoventrales y cinco transversales. En este caso, para los individuos de Piedra Azul fue imposible determinar características diagnósticas como el número de cirros, el número de surcos o “costillas”, la zona adoral de membranelas o el sistema de líneas de plata debido a que las muestras no pudieron ser fijadas e impregnadas de manera adecuada, pues además de que estos organismos son muy pequeños, suelen encontrarse “arrastrándose” debajo de la materia orgánica, característica que dificulta el aislamiento de individuos para su fijación y posterior tinción.



**Figura 4:** *Aspidisca* sp. Especímen *in vivo* (A y B), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (C), representación esquemática de la morfología general. A y D. Región ventral del cuerpo; B-C. Vista dorsal del cuerpo. Abreviaturas: cirros frontoventrales (CFV), cirros transversales (CT), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), zona adoral de membranelas (ZAM), flechas negras señalan costillas dorsales. Escalas: 50  $\mu$ m (A), 20  $\mu$ m (B-D).

## 2. *Brachonella* sp.

**Descripción.** El tamaño de la célula es de 85.360 µm de largo por 56.824 µm de ancho; el cuerpo es en forma de bala, con la parte anterior al citostoma más grande en relación con la parte post-citostomal (Fig. 5A-B), en la zona inferior de la célula se posiciona la vacuola contráctil (Fig. 5A), además de algunos cilios caudales largos (Fig. 5B); macronúcleo (ubicado en la parte anterior del cuerpo) esférico y bastante grande (Fig. 5B), por lo que puede distinguirse con facilidad sin necesidad de colorantes vitales; una masa de gránulos negros ubicada en parte proximal anterior (Fig. 5A).

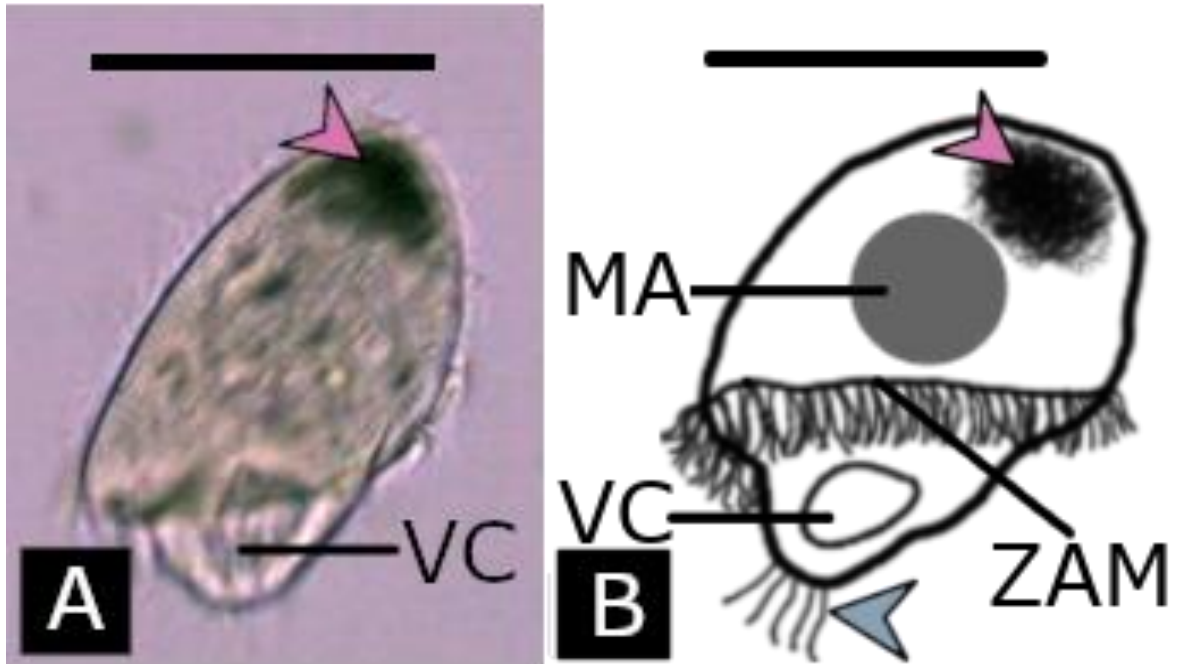
**Comentarios.** Existen al menos nueve especies dentro del género *Brachonella* que se caracterizan por ser organismos con una cúpula preoral desproporcionadamente grande que sobresale por encima de la zona adoral de membranelas; las membranelas se encuentran en un surco profundo en espiral en forma de “S” invertida alrededor de todo el cuerpo, además, el citostoma se encuentra desplazado posteriormente (Bourland y Wendell, 2014).

Las características de los individuos encontrados en la localidad de Piedra Azul encajan con aquellas que determinan al género *Brachonella*, principalmente por la forma del cuerpo (de bala), la cúpula preoral más grande que la zona postoral y el surco espiral que rodea hasta la parte dorsal de la célula.

Este género se observó en dos ocasiones en la localidad de Piedra Azul, sin embargo, no fue posible fijar a estos organismos para técnicas de impregnación con nitrato de plata, por lo que no se pudo determinar a nivel de especie. La escasa observación de este género se podría atribuir a que son organismos anaerobios, por lo que requieren de condiciones específicas para su desarrollo (Bourland *et al.*, 2022).

Méndez-Sánchez (2017) registró la presencia de la especie *B. spiralis* Smith, 1897 en la localidad Lago Analco, por lo que no es la primera vez que se registra al género en el estado de Oaxaca. Tanto los individuos encontrados en Piedra Azul como los de Lago Analco comparten intervalos de tamaño muy similares.





**Figura 5.** *Brachonella* sp. **A.** Forma típica del espécimen *in vivo*; **B.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: macronúcleo (**MA**), vacuola contráctil (**VC**), zona adoral de membranelas (**ZAM**), flecha rosa señala masa de gránulos oscuros, flecha azul señala cilios caudales. Escala: 50  $\mu$ m.

### 3. Chilodonellidae gen. sp.

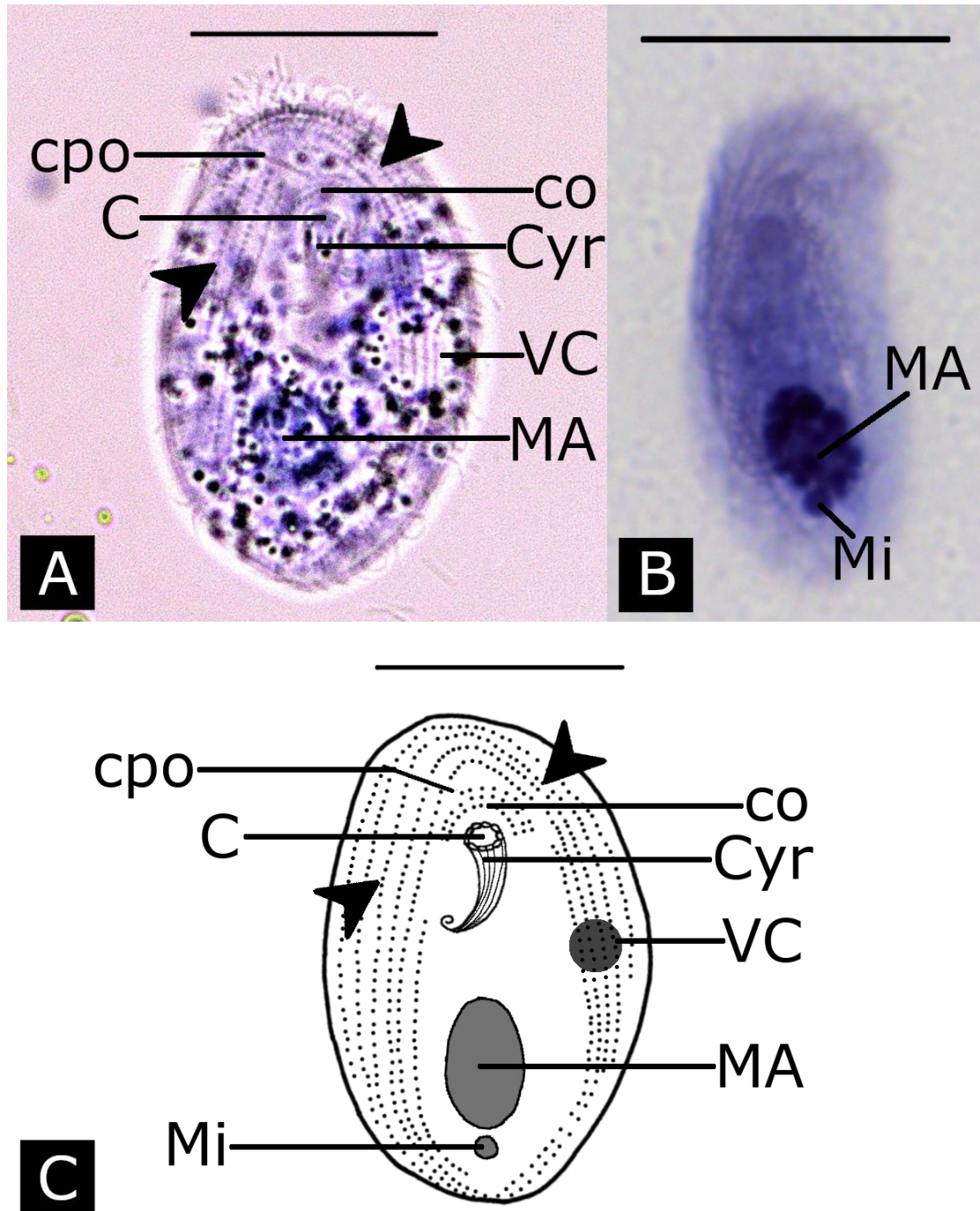
**Descripción.** Células ovaladas con una ligera proyección anterior del cuerpo en forma de pico (Fig. 6A); tamaño 37.249 – 40.254  $\mu\text{m}$  de largo por 24.195 – 28.009  $\mu\text{m}$  de ancho; ciliatura somática compuesta de por lo menos 11 cinetias ventrales: seis izquierdas y cinco derechas, que se unen a una cinetia pre-oral oblicua (Fig. 6A y 6C); el citostoma se ubica en el tercio superior de la célula, debajo de las cinetias orales, éste conduce hacia una estructura en forma de espiral denominada cirto o citofaringe que se compone de un conjunto de varillas (Fig. 6A y C); aparato nuclear en el tercio inferior del cuerpo y consta de un macronúcleo heterómero y un micronúcleo mucho más pequeño justo debajo del macronúcleo (Fig. 6B-C); una vacuola contráctil posicionada en la parte derecha del cuerpo (Fig. 6A-C).

**Comentarios.** El arreglo de las cinetias somáticas anteriormente descrito son consistentes con la descripción de la familia Chilodonellidae. Otros taxones dentro de la Subclase Cryptophoria se caracterizan por poseer cinetias en la región postoral, mientras que la ciliatura de la familia Chilodonellidae se restringe a cinetias derechas e izquierdas (Chen *et al.*, 2016; Qu *et al.*, 2022).

Dentro de la familia Chilodonellidae se agrupan los géneros *Chilodonella* Strand, 1928, *Pseudochilodonopsis* Foissner, 1979, *Phascolodon* Stein, 1859, *Odontochlamys* Certes, 1981 y *Trithigmostoma* Jankowski, 1967. El género *Trithigmostoma* es fácilmente reconocible de otros chilodonellidos por poseer cinetias somáticas ventrales continuas y porque la mayoría de sus cinetias derechas se extienden hasta el extremo posterior de la célula. *Phascolodon* se distingue por su forma tan particular, como la de una silla de montar con el extremo posterior redondeado. *Pseudochilodonopsis*, por su parte, tiene una cinetia preoral fragmentada, a diferencia de *Odontochlamys* y *Chilodonella*, cuya cinetia preoral es continua. *Odontochlamys* y *Chilodonella* son parecidos, sin embargo, pueden ser diferenciados por la posición del cepillo dorsal (una estructura que sólo es perceptible después de la impregnación con plata) (Foissner *et al.*, 1991; Chen *et al.*, 2016; Pan *et al.*, 2016; Qu *et al.*, 2022).

De acuerdo con Foissner *et al.* (1991), una diferencia muy notable entre el género *Odontochlamys* y *Chilodonella*, es que el primero tiene una tendencia a enquistarse fácilmente debajo del cubreobjetos y a la preferencia por ambientes terrestres. Por lo anterior, es probable que los organismos encontrados en Piedra Azul pertenezcan al género *Chilodonella*, sin embargo, dado que no se cuenta con técnicas de impregnación que nos proporcionen la posición del cepillo dorsal, no es posible aseverar lo anterior.

Anteriormente, Méndez-Sánchez (2017) registró la presencia de *C. uncinata* Ehrenberg, 1838 en las localidades Presa la Azucena y Lago Analco en el estado de Oaxaca. Las características de los individuos de Piedra Azul coinciden en el tamaño, la forma del cuerpo, la composición nuclear y el número de cinetias para la especie *C. uncinata* registradas por Foissner *et al.* (1991), sin embargo, para apreciar de forma más precisa las cinetias y determinar a nivel de género y especie, también hace falta una técnica de impregnación con nitrato de plata.



**Figura 6: Chilodonellidae gen.** Técnica de tinción con violeta cristal (A), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (B). A. Vista ventral del cuerpo; B. Aparato nuclear; C. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: citostoma (C), cinetias orales (co), cinetia preoral (cpo), cirto (cyr), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), vacuola contráctil (VC), flechas negras señalan cinetias somáticas izquierdas y derechas. Escala 20  $\mu$ m.

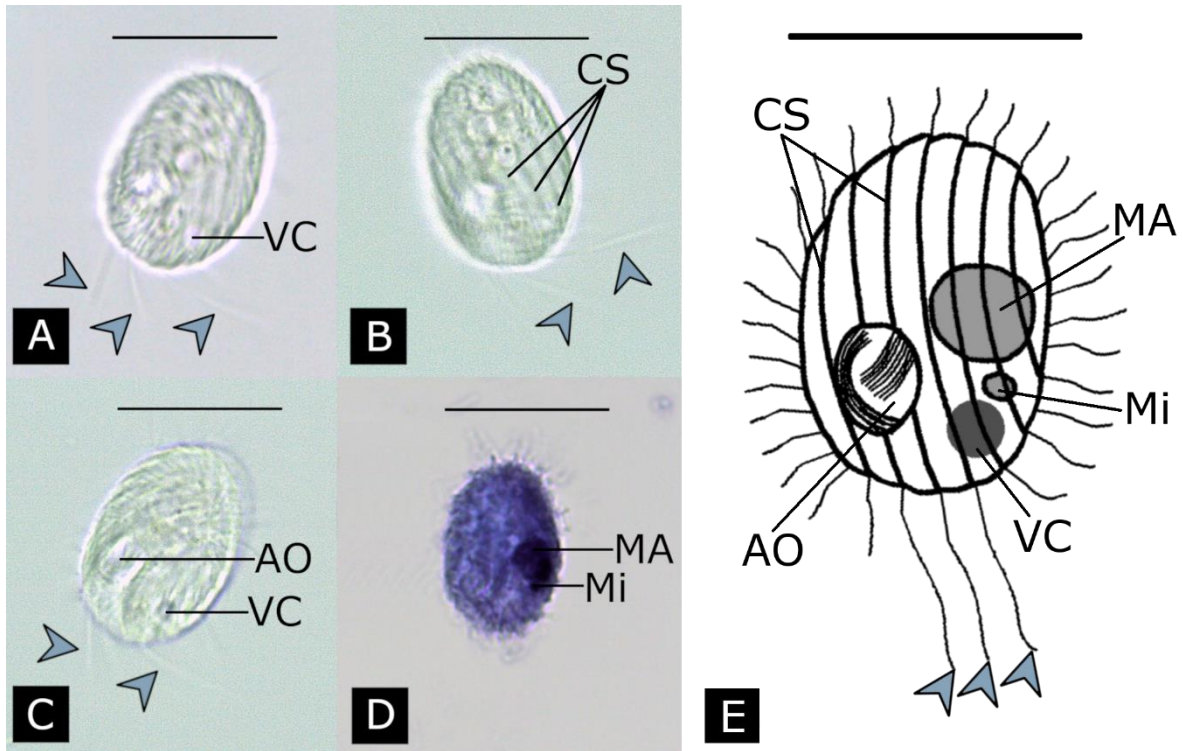
#### 4. *Cinetochilum* sp.

**Descripción.** Cuerpo elíptico pequeño, con 23.026 – 26.052  $\mu\text{m}$  de largo por 15.256 – 17.213  $\mu\text{m}$  de ancho; dorsoventralmente aplanado, con los extremos anterior y posterior redondeados (Fig. 7); los cilios somáticos se limitan principalmente al lado ventral de la célula y se encuentran en surcos profundos en forma de herradura (Fig. 7B y 7E); al menos tres cilios caudales sobresalen más allá del margen posterior de la célula (Fig. 7A, B, C y E); el área oral se ubica en la parte posterior del cuerpo (Fig. 7C y 7E); el macronúcleo es esférico y está acompañado por un micronúcleo de la misma forma, aunque más pequeño (Fig. 7D-E); vacuola contráctil subterminal, ubicada del lado contrario con respecto a la boca (Fig. 7A y C); los individuos presentaron un movimiento rápido y solían encontrarse entre la materia.

**Comentarios.** Las características presentadas anteriormente son consistentes con la descripción proporcionada por Gong y Song (2008) para el género *Cinetochilum*, particularmente por el tamaño pequeño de las células y por la presencia de surcos profundos en forma de herradura, de los cuales se desprenden los cilios caudales.

Existen al menos seis especies nominales dentro del género *Cinetochilum* que difieren en la forma y tamaño del cuerpo, el número de cinetias somáticas, el hábitat en que habitan, el número de macronúcleos y la presencia/ausencia de extrusomas. *Cinetochilum marinum* Kahl, 1931, *C. ovale* Gong y Song, 2008 y *C. australiense* Foissner *et al.*, 1994, son especies marinas, mientras que *C. mirum* Penard, 1922 y *C. impatiens* Penard, 1922 son especies de agua dulce. Por otro lado, *C. margaritaceum* puede encontrarse tanto en ambientes marinos como de agua dulce (Gong y Song, 2008).

No fue posible determinar a nivel de especie debido a que no todas las especies dentro del género están suficientemente caracterizadas, sin embargo, los individuos encontrados en Piedra Azul comparten algunas características presentadas por Foissner *et al.* (1994) para *C. margaritaceum*, una especie previamente registrada por Méndez-Sánchez (2017) en el estado de Oaxaca. El intervalo de tamaño, la forma del cuerpo, el hábitat, la posición de la vacuola y la composición nuclear, son algunas características que coinciden entre los individuos observados en este trabajo y los caracteres registrados para la especie *C. margaritaceum*, cuya característica distintiva entre sus congéneres es la presencia de extrusomas, estructuras que no se observaron en los individuos de Piedra Azul.



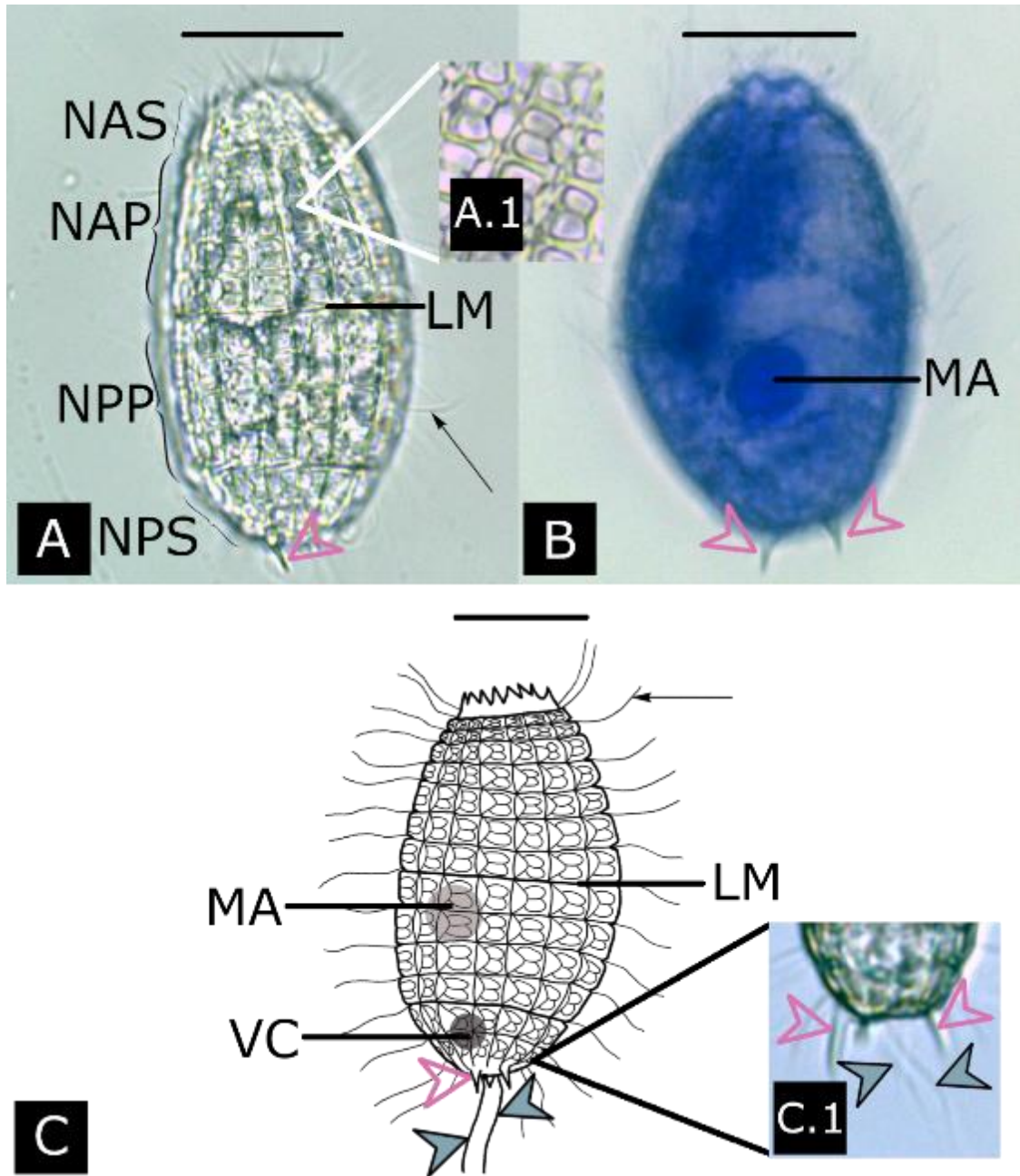
**Figura 7:** *Cinetochillum* sp. Espécimen *in vivo* (A-C), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (D). A-D. Vista ventral de la célula; E. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: área oral (AO), cinetias somáticas (CS), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), vacuola contráctil (VC), flechas azules señalan cilios caudales. Escala 20  $\mu$ m.

## 5. *Coleps elongatus*

**Descripción.** El tamaño de la célula es de 52.610 – 57.143  $\mu\text{m}$  de largo y 18.512 – 20.737  $\mu\text{m}$  de ancho; armadura compuesta de dos ventanas anteriores secundarias, cinco ventanas anteriores primarias, cuatro ventanas posteriores primarias y dos ventanas posteriores secundarias (Fig. 8A). Las ventanas son de tipo *hirtus* o pretzel (Fig. 8A.1); no existe simbiosis con algas; el macronúcleo es esférico y mayormente se ubica por debajo de la línea media (Fig. 8B), aunque también puede posicionarse por encima de ésta; extremo posterior del cuerpo redondeado, del cual se asoman tres espinas caudales (Fig. 8); la línea media del cuerpo es muy marcada y es distinguible con facilidad (Fig. 8A y C); vacuola contráctil ubicada en el extremo posterior del cuerpo (Fig. 8C); siempre con dos cilios caudales en el extremo posterior de la célula (Fig. 8C.1).

**Comentarios.** De acuerdo con Foissner *et al.* (1994), hay por lo menos cinco especies conocidas dentro del género *Coleps* que tienen ventanas tipo pretzel: *C. hirtus*, *C. amphacanthus* Ehrenberg, 1833, *C. elongatus*, *C. bicuspis* Noland, 1925 y *C. spetai* Foissner, 1984. De todas ellas, la que guarda más parecido con la especie *C. elongatus* es *C. hirtus*, sin embargo, de acuerdo con lo descrito por Kim (2015), la diferencia radica en el número de placas anteriores primarias: cuatro en el caso de *C. hirtus* y cinco en el caso de *C. elongatus*. Además, se menciona que otras características importantes que nos permiten distinguir entre ambas especies son el número de cilios caudales (uno en *C. hirtus* y dos en *C. elongatus*) y la posición del macronúcleo (ecuatorial en el caso de *C. hirtus* y posterior en el caso de *C. elongatus*). No obstante, Ghosh *et al.* (2021) mencionó que el macronúcleo en poblaciones de *C. elongatus* de la India se ubicaba por debajo de la zona ecuatorial de la célula, hacia la parte posterior del cuerpo, por lo tanto, la posición del macronúcleo no siempre es la misma. En el caso de las poblaciones que se encontraron en la Presa Piedra Azul y en el arroyo, en su mayoría el macronúcleo se ubicó por debajo de la zona ecuatorial del cuerpo, lo que coincide con lo descrito por Ghosh *et al.* (2021), sin embargo, también fueron frecuentes los individuos que poseían el macronúcleo en la zona posterior de la célula.

Tanto Kim (2015) como Ghosh *et al.* (2021) mencionan la presencia de una espina en la parte anterior del cuerpo, sin embargo, en los individuos que se encontraron tanto en la presa como en el arroyo, no se logra percibir dicha estructura debido a que fue imposible enfocar la zona anterior con detalle.



**Figura 8:** *Coleps elongatus*. Especímenes *in vivo* (A, A.1 y C.1), técnica de tinción con azul de metileno (B). A. Forma típica del cuerpo; A.1. Ventanas tipo *hirtus*; C. Representación esquemática de la morfología general; C.1 Disposición de los cilios caudales; D. Aparato nuclear. Abreviaturas: línea media (LM), niveles anteriores primarios (NAP), niveles posteriores primarios (NPP), niveles anteriores secundarios (NAS), niveles posteriores secundarios (NPS), macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC). Flechas negras señalan cilios somáticos, flechas rosas señalan espinas caudales, flechas azules señalan cilios caudales. Escala 20  $\mu\text{m}$ .

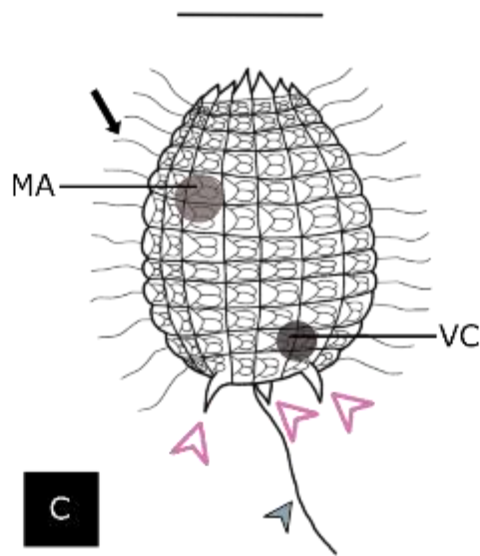
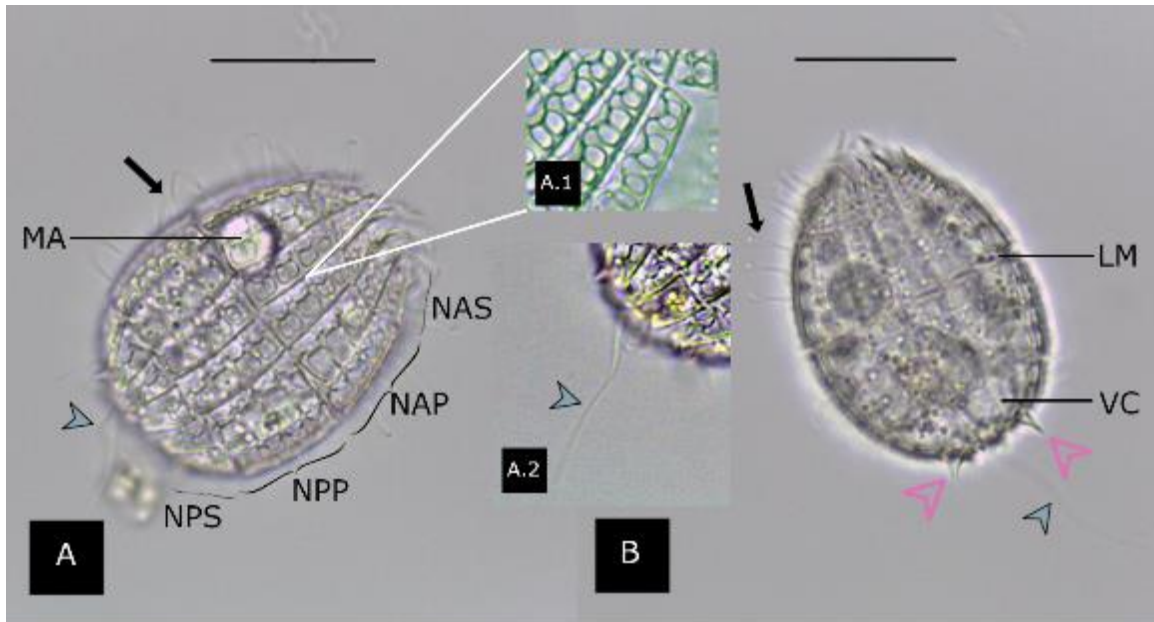


## 6. *Coleps hirtus*

**Descripción.** El tamaño de la célula es de 52.295 – 58.523  $\mu\text{m}$  de largo por 27.051 – 29.518  $\mu\text{m}$  de ancho; las células presentan forma de barril (Fig. 9A-B); macronúcleo esférico posicionado en la parte media del cuerpo (Fig. 9A); vacuola contráctil ubicada en la parte posterior del cuerpo (Fig. 9B); no hay presencia de algas simbiotes; armadura compuesta por 12 ventanas dispuestas en filas longitudinales: dos ventanas anteriores secundarias, cuatro ventanas anteriores primarias, cuatro ventanas posteriores primarias y dos ventanas posteriores secundarias (Fig. 9A); ventanas de tipo *hirtus* o pretzel (Fig. 9A.1); extremo posterior del cuerpo con tres espinas caudales (Fig. 9C); presencia de un cilio caudal muy largo en el extremo posterior de la célula (Fig. 9A.2).

**Comentarios.** Foissner *et al.* (1994) menciona que en la especie *Coleps hirtus* sólo se pueden encontrar cuatro ventanas primarias anteriores, sin embargo, Pröschold *et al.* (2021) menciona que se pueden encontrar algunos individuos que presenten hasta cinco ventanas primarias anteriores. En el caso de los individuos encontrados en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, todos presentaban sólo cuatro ventanas primarias anteriores. Tanto Foissner *et al.* (1994) como Pröschold *et al.* (2021) mencionan la presencia de una espina en la placa lateral delantera (en la zona anterior del cuerpo), no obstante, ésta no se observó en los individuos encontrados en la presa y el arroyo, pues enfocar esa zona de la célula resultó complicado. Hay cuatro especies que comparten las mismas características anteriormente mencionadas: *C. hirtus*, *C. viridis* Ehrenberg, 1831, *C. spetai* y *Nolandia nolandi* Kahl, 1930. *Nolandia nolandi* se distingue por la forma de sus placas (reniforme vs. pretzel en *C. hirtus*), por otro lado, tanto *C. viridis* como *C. spetai* son especies con endosimbioses (Pröschold *et al.*, 2021).

Esta especie había sido registrada previamente en el estado de Oaxaca en las localidades “Lago Analco” y “Presa La Azucena” por Méndez-Sánchez (2017).

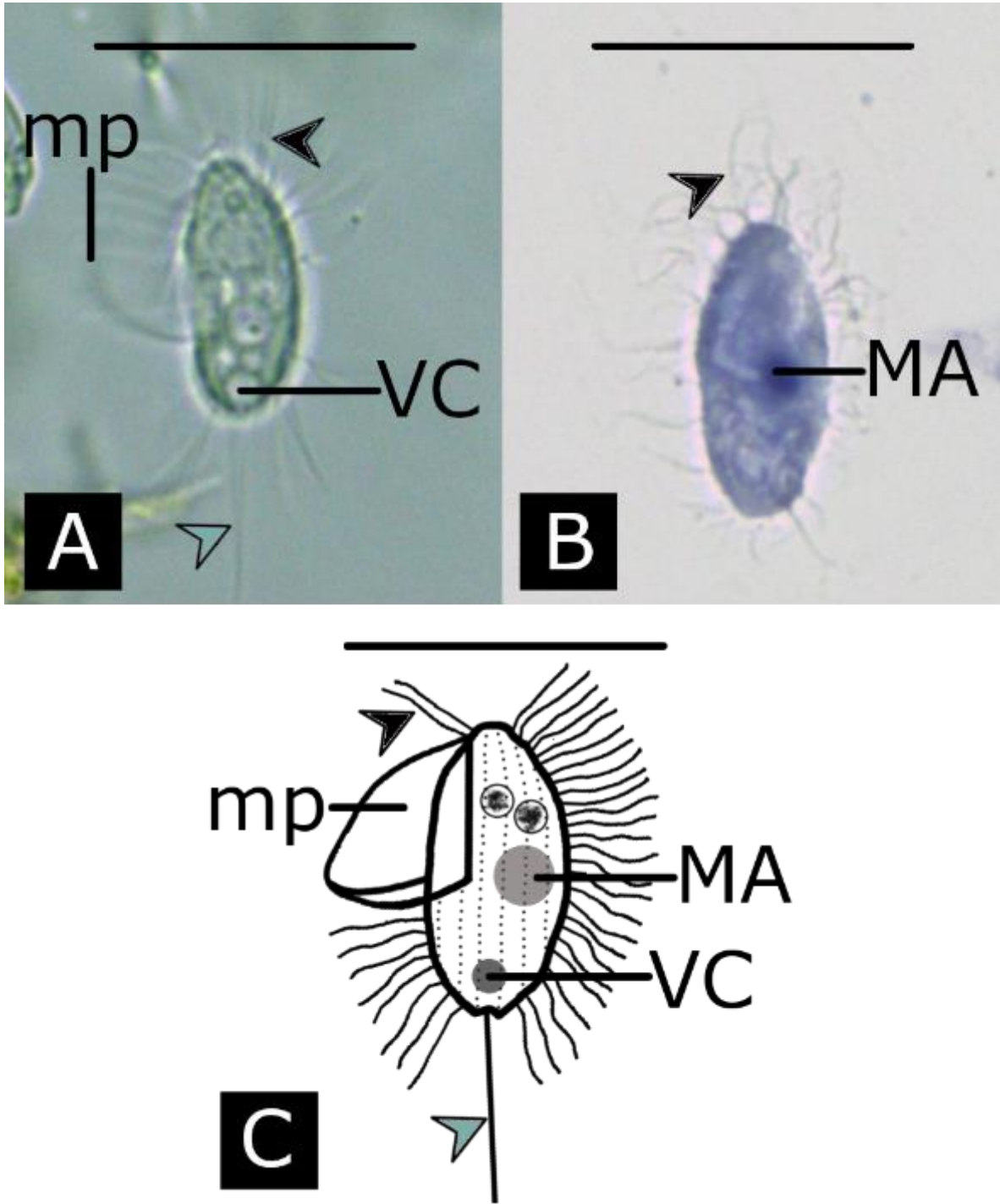


**Figura 9: *Coleps hirtus*.** Espécimen *in vivo* (A-B). A y B. Forma típica de la célula; A.1. Ventanas tipo *hirtus*; A.2. Cilio caudal; C. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: niveles anteriores secundarios (NAS), niveles anteriores primarios (NAP), niveles posteriores primarios (NPP), niveles posteriores secundarios (NPS), línea media (LM), macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC). Flechas negras señalan cilios somáticos, flechas rosas señalan espinas caudales, flechas azules señalan cilio caudal. Escala 20  $\mu\text{m}$ .

## 7. *Cyclidium* sp.

**Descripción.** Cuerpo de 16.905 – 20.186  $\mu\text{m}$  de largo por 7.626 – 9.239  $\mu\text{m}$  de ancho; células elipsoidales con una región anterior truncada sin cilios; zona posterior del cuerpo redondeada (Fig. 10A y C); presencia de un cilio caudal en la zona posterior del cuerpo (Fig. 10A y C); macronúcleo posicionado en la parte central del cuerpo (Fig. 10B-C); vacuola contráctil terminal (Fig. 10A y C); presenta una membrana paroral en el lado derecho de la célula que abarca más del 50% de la longitud total de la célula (Fig. 10A y C). Movimientos activos y muy rápidos, siempre bastante cercanos a la materia orgánica.

**Comentarios.** Los organismos pertenecientes al género *Cyclidium* comprenden más de 40 especies que se distribuyen en hábitats terrestres, marinos y de agua dulce. Estas especies se distinguen por tener un extremo apical notablemente truncado, membranas no separadas y una membrana paroral prominente en forma de ala, sin embargo, para distinguir entre especies es necesario llevar a cabo técnicas de impregnación con nitrato de plata (Pan *et al.*, 2017). A pesar de que esta especie fue abundante en las muestras y de que se pudo fijar con éxito, las técnicas de impregnación con nitrato de plata no se lograron con éxito, con lo que no fue posible resaltar la infraciliatura, un carácter que es necesario para discriminar entre especies de este género (Pan *et al.*, 2017). Anteriormente se había registrado la presencia del género en el estado de Oaxaca. *Cyclidium glaucoma* Müller, 1773 se encontró en las localidades Lago Analco, presa la Azucena y en Ixtlán de Juárez (Cruz-Jiménez, 2017; Méndez-Sánchez, 2017), además; recientemente, Rivas-Beltrán *et al.*, (2023) registraron a *Cyclidium* sp. en los estanques de una granja piscícola ubicada en los valles centrales de Oaxaca.



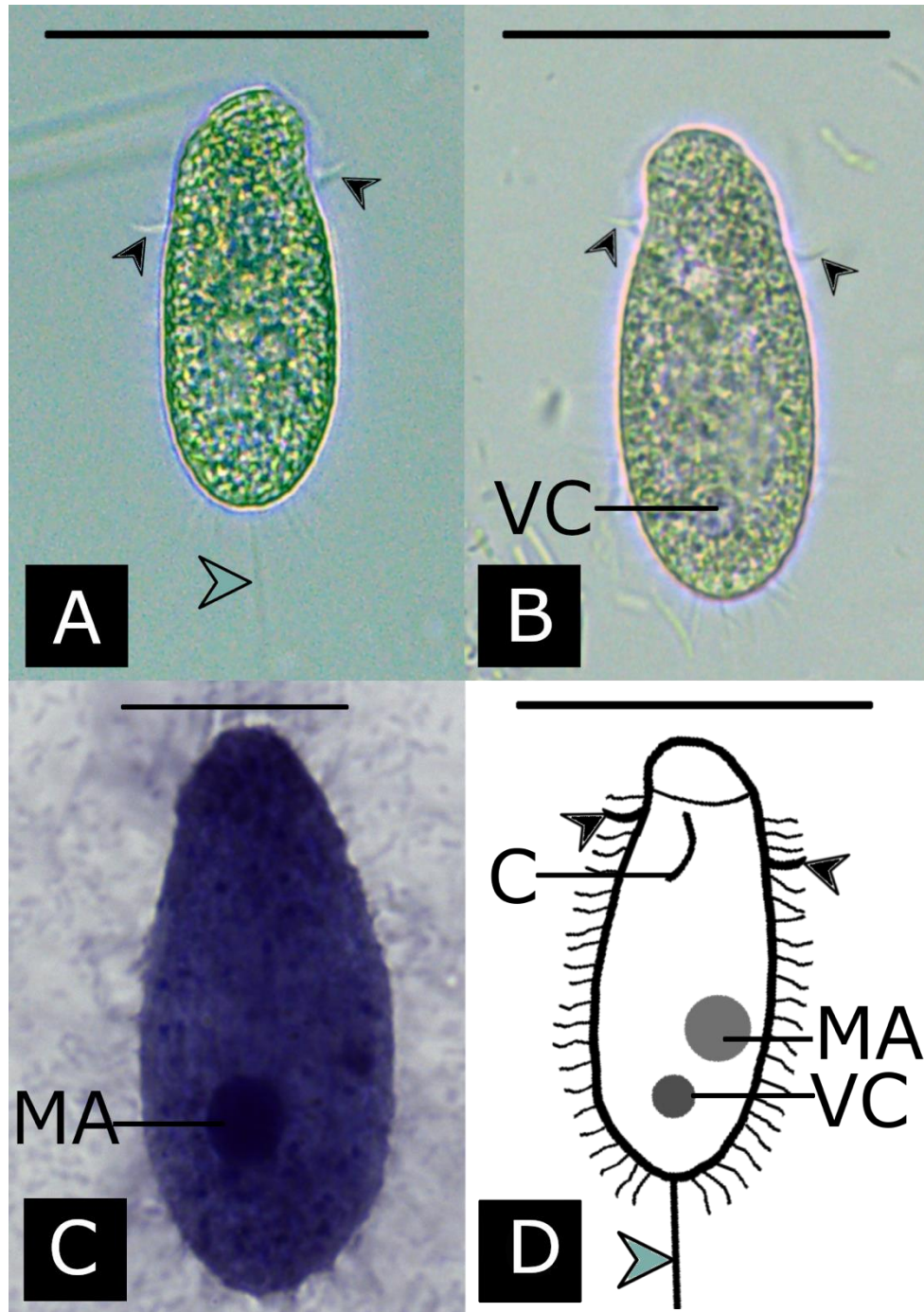
**Figura 10:** *Cyclidium* sp. Especímen *in vivo* (A), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (B). A. Forma típica de la célula, B. Aparato nuclear; C. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: macronúcleo (MA), membrana paroral (mp), vacuola contráctil (VC), flechas negras señalan cilios somáticos, flechas azules señalan cilio caudal. Escala 20  $\mu$ m.

## 8. *Dexiotricha* sp.

**Descripción.** Células ovaladas que miden 55.228 – 59.958  $\mu\text{m}$  de largo por 22.110 – 26.007  $\mu\text{m}$  de ancho; extremo posterior de la célula redondeado y más ancho que el extremo anterior (Fig. 11A, B y D); presencia de un cilio caudal (Fig. 11A y D); macronúcleo esférico ubicado en el tercio inferior del cuerpo (Fig. 11C-D); citostoma posicionado en la región anterior del cuerpo (Fig. 11D); presencia de una vacuola contráctil terminal (Fig. 11B y D). Una característica distintiva de estos organismos es la presencia de cinetias que forman filas transversas en el tercio anterior de la célula (Fig. 11A, B y D); el cuerpo carece de cilios en el extremo anterior (Fig. 11A, B y D).

**Comentarios.** Este género ha sido registrado en distintos ambientes y comprende, al menos, siete especies válidas. Las principales características para discriminar entre especies son el número de cinetias somáticas y postorales, el número de cilios caudales y la posición del macronúcleo y la vacuola contráctil (Qu *et al.*, 2019). A pesar de que tres de las cinco características más importantes son visibles en los individuos encontrados en Piedra Azul, algunas de estas características se comparten entre congéneres, por lo que la disposición y número de cinetias permitiría hacer una aproximación mucho más certera a nivel de especie. En este caso, las impregnaciones con nitrato de plata Klein no permitieron determinar el número de cinetias somáticas y postorales.

Anteriormente ya se había registrado a este género en el estado de Oaxaca. Méndez-Sánchez (2017) encontró a la especie *Dexiotricha* cf. *granulosa* en la localidad Lago Analco, y, recientemente, Rivas-Beltrán *et al.*, (2023) también registraron a la especie *D. granulosa* en los estanques de una granja piscícola de traspatio ubicada en los valles centrales de Oaxaca. Estas especies se caracterizan por poseer una gran cantidad de gránulos en forma de anillo en el citoplasma, sin embargo, difieren en el número de cinetias somáticas y en la posición de la vacuola contráctil (Fan *et al.*, 2014; Méndez-Sánchez, 2017; Qu *et al.*, 2019). En los individuos de Piedra Azul no fue posible distinguir la presencia de estos gránulos, aunque el citoplasma no es hialino y, por lo tanto, no se descarta la posibilidad de que estos gránulos estén presentes, no obstante, también podría tratarse de una gran cantidad de materia orgánica. Hasta el momento no hay datos que proporcionen evidencia de una posible simbiosis entre alguna especie de este género y otros organismos, que también podría ser una de las razones del color verdoso del citoplasma.



**Fig. 11:** *Dextotricha* sp. Especímenes *in vivo* (A-B), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (C). **A.** Forma típica de la célula, vista lateral derecha **B.** Vista dorsal de la célula; **C.** Vista ventral de la célula; **D.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: citostoma (C), macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), flechas negras señalan fila de cilios transversal, flecha azul señala cilio caudal. Escala: 50  $\mu$ m (A, B y D), 20  $\mu$ m (C).

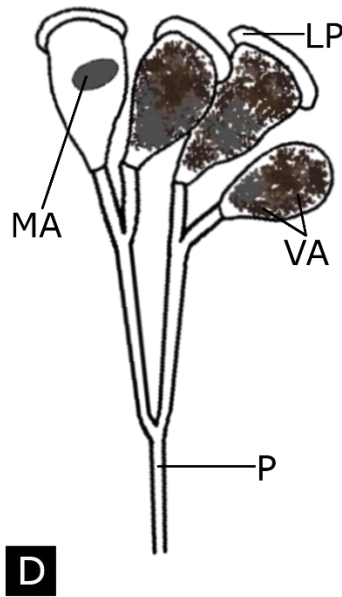
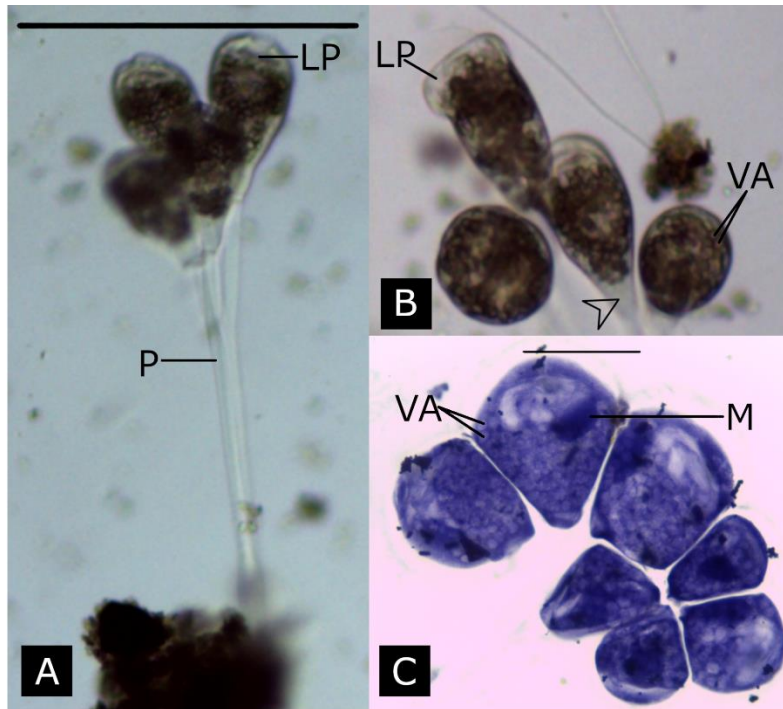
## 9. Epistylididae gen. sp. 1

**Descripción.** Zooide con forma de campana invertida, es delgado y mide 80.003 – 81.292  $\mu\text{m}$  de largo por 43.881 – 47.518  $\mu\text{m}$  de ancho; citoplasma completamente lleno de lo que aparentemente son vacuolas alimenticias, por lo que éste se percibe oscuro a bajos objetivos -excepto en la parte posterior- (Fig. 12A, B y D); labio peristomal eversible; cuerpo ligeramente constreñido por debajo del labio peristomal (Fig. 12B); cuando el zooide está contraído se deforma la célula y adquiere una forma esférica (Fig. 12B); no hay presencia de espasmonema, por lo tanto, el pedúnculo no es contráctil; cada rama del pedúnculo es lisa y se bifurca (Fig. 12A y D). El macronúcleo se posiciona en el tercio anterior del zooide, muy cercano al labio peristomal (Fig. 12C-D).

**Comentarios.** En este caso fue imposible determinar a nivel de género porque las características observables *in vivo*, así como aquellas que se perciben con la tinción de hematoxilina de Harris, no son suficientes ni proporcionan los datos necesarios para determinar hasta ese nivel taxonómico. De acuerdo con Lynn (2008), para determinar un nivel taxonómico en organismos sésiles como éste, es necesario contar con el tamaño y forma del cuerpo, la infraciliatura, las líneas de plata, la morfología del macronúcleo, las vacuolas contráctiles y si hay o no presencia de gránulos.

Fue posible determinar a nivel de familia debido a que el pedúnculo no es contráctil y al labio peristomal es eversible. Sólo dos familias se caracterizan por agrupar individuos coloniales con pedúnculos no contráctiles: Operculariidae Fauré-Fremiet en Corliss, 1979 y Epistylididae, sin embargo, los individuos de Operculariidae no tienen labios peristomales eversibles (Lynn, 2008; Wang *et al.* 2016).

Esta es la primera vez que se registra la presencia de un miembro de la familia Epistylididae en el estado de Oaxaca.



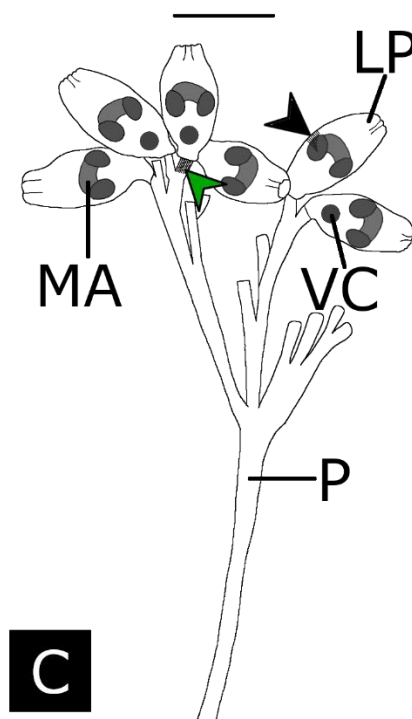
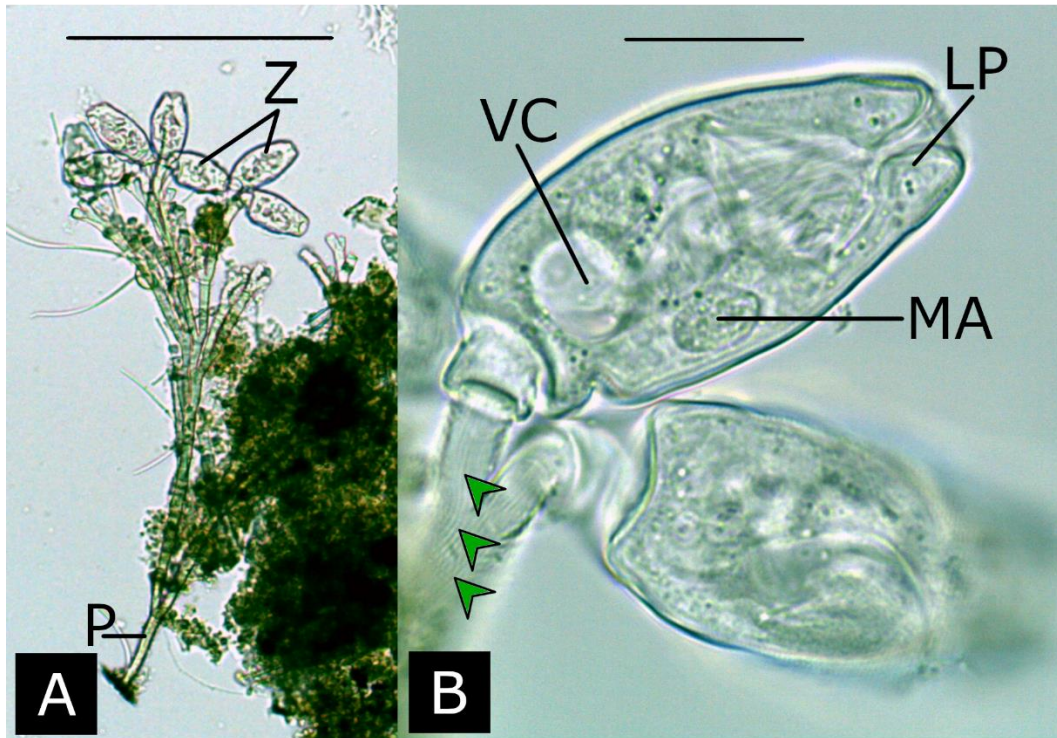
**Fig. 12: Epistylididae gen. 1.** Colonia *in vivo* (A-B), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (C). **A.** Colonia completa (zooides y pedúnculo); **B.** Zooides. **C.** Composición nuclear. **D.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: labio peristomal (LP), pedúnculo (P), macronúcleo (MA), vacuola alimenticia (VA), flecha señala la zona inferior del zoide, en donde no hay vacuolas alimenticias. Escala: 200  $\mu\text{m}$  (A y D), 20  $\mu\text{m}$  (C).



## 10. Epistylididae gen. 2

**Descripción.** El cuerpo es delgado y mide 52.076 – 59.145  $\mu\text{m}$  de largo por 27.426 – 28.897  $\mu\text{m}$  de ancho; labio peristomal eversible; citoplasma translúcido (Fig. 13A); macronúcleo en forma de “C”, posicionado en la parte central del zooide en el plano transversal (Fig. 13B-C); vacuola contráctil ubicada en la parte inferior del zooide (Fig. 13B-C); carece de espasmonema, por lo tanto, el pedúnculo no es contráctil (Fig. 13A y C); cada rama del pedúnculo está finamente estriada longitudinalmente (Fig. 13B-C).

**Comentarios.** En este caso no fue posible fijar al organismo para técnicas de impregnación con nitrato de plata o tinción con hematoxilina de Harris. Las características *in vivo* no son suficientes para determinar a nivel de género, sin embargo, debido a su condición de individuos coloniales, a la ausencia de espasmonema y a la presencia de un labio peristomal eversible, se le puede considerar como un miembro de la familia Epistylididae (Lynn, 2008; Wang *et al.*, 2016).



**Fig. 13: Epistylididae gen. 2.** Colonia *in vivo* (A-B). A. Colonia completa; pedúnculo y zooides; B. Zooide, C. Representación esquemática de la morfología general . Abreviaciones: labio peristomal (LP), macronúcleo (MA), pedúnculo (P), vacuola contráctil (VC), zooide (Z), flechas verdes señalan las estriaciones del pedúnculo. Escala: 200  $\mu\text{m}$  (A), 20  $\mu\text{m}$  (B), 50  $\mu\text{m}$  (C).

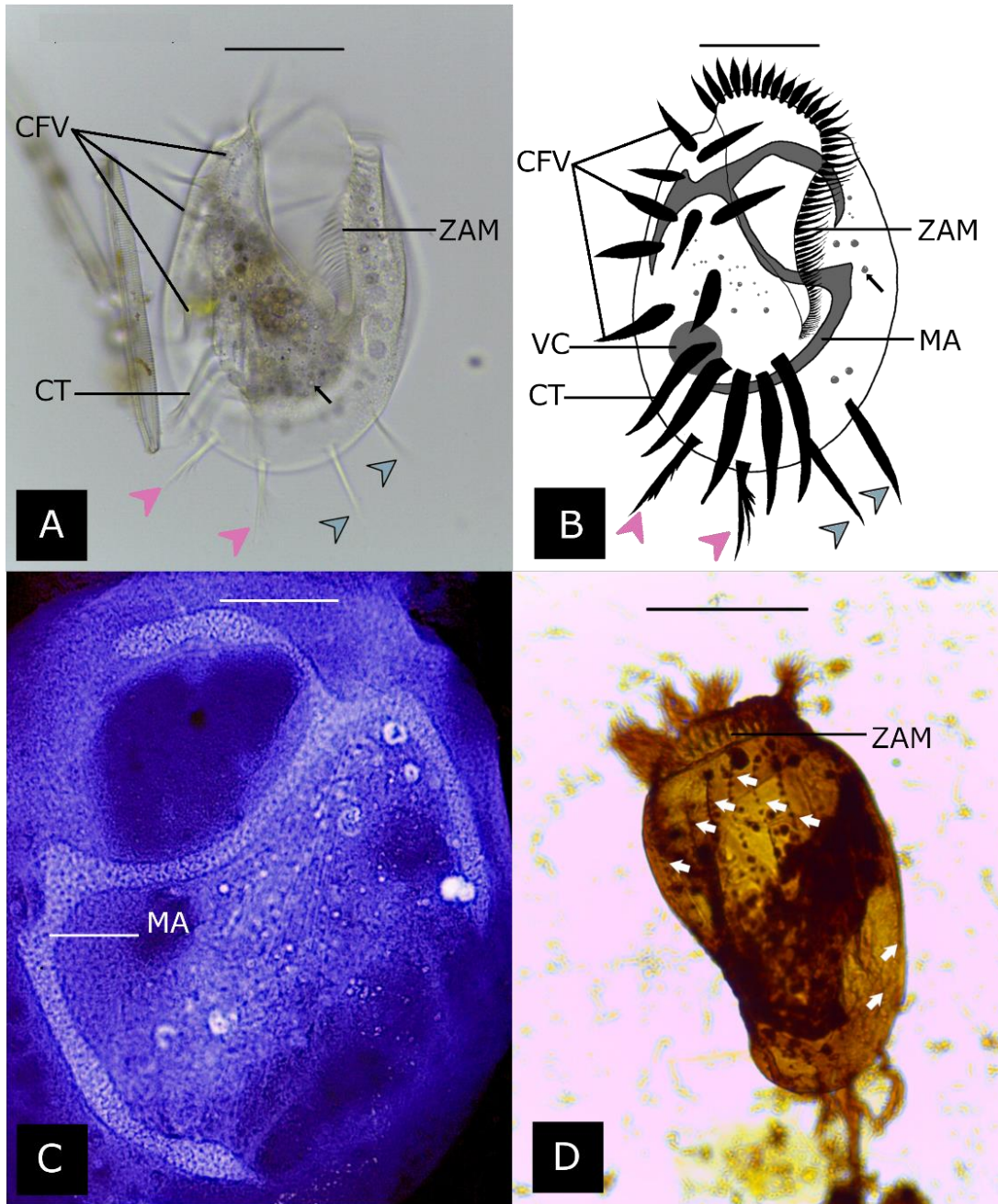
## 11. *Euplotes woodruffi*

**Descripción.** Forma del cuerpo ovalada, con un peristoma largo, triangular y bien definido que se extiende hacia la parte posterior del cuerpo, abarcando 2/3 de la longitud total de la célula, zona adoral de membranelas compuesta de al menos 60 membranelas (Fig. 14A-B); el tamaño de la célula es de 146.562 – 161.281  $\mu\text{m}$  de largo y 85.446 – 97.712  $\mu\text{m}$  de ancho; la longitud del peristoma es de 100.404 – 111.871  $\mu\text{m}$ , con lo que ocupa entre el 68 y 69% de la longitud total del cuerpo (Fig. 14A-B); citoplasma incoloro con gránulos refractivos (Fig. 14A-B); cuenta con nueve cirros frontoventrales, cinco cirros transversales y cuatro cirros caudales (dos de ellos con apariencia bifurcada hacia la punta) (Fig. 14A-B); macronúcleo único con forma de “T” o “Y”, con dos brazos que tienen distinta longitud (el brazo derecho más largo que el brazo izquierdo) (Fig. 14C); en la región dorsal del cuerpo cuenta con 9-10 cinetias dorsales, compuestas de pares de cuerpos basales (Fig. 14D); vacuola contráctil ubicada a la derecha de los cirros transversales (Fig. 14B). Los individuos presentaron movimientos rápidos y se arrastraban sobre el sustrato.

**Comentarios.** Las características de los individuos encontrados en la localidad de Piedra Azul corresponden con lo registrado por Curds (1975), Dai *et al.* (2013) y Abraham *et al.* (2021) con respecto a la especie *Euplotes woodruffi*. Song y Bradbury (1997) separaron a esta especie en dos especies (*E. woodruffi* y *E. parawoodruffi*) basados en la forma del cuerpo, la presencia/ausencia de un bolsillo pre-oral, la cantidad de membranelas en la zona adoral de membranelas, la longitud del brazo del macronúcleo; y, particularmente por el hábitat (agua dulce vs. ambientes marinos y salobres). Sin embargo, Dai *et al.* (2013), presentaron evidencia con la que respaldan que no existen diferencias morfológicas y moleculares significativas, y sugieren que *E. parawoodruffi* es sinónimo junior de *E. woodruffi*. Señalan que la forma de los individuos varía tanto intra como interpoblacionalmente, y con respecto al tamaño de distintas estructuras, mencionan que son dependientes del tamaño de la célula. Además, demostraron que el bolsillo pre-oral puede estar presente independientemente del ambiente en el que se colecte la muestra y que *E. woodruffi* puede desarrollarse en ambientes dulceacuícolas y salobres, con lo que eliminan la principal razón por la cual hubo una separación de especies.

En los individuos encontrados en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece no se observaron bolsillos pre-orales, ni tampoco fue posible observar el micronúcleo después de la tinción con hematoxilina de Harris, no obstante, la forma característica del macronúcleo y el hábitat en que se encontraron los individuos, son caracteres suficientes para reconocer a esta especie.

Esta especie había sido registrada con anterioridad en la Cantera Oriente perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, en el Pedregal de San Ángel, en la Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 2009), sin embargo, esta es la primera vez que se registra en Oaxaca.



**Fig. 14:** *Euplotes woodruffi*. Espécimen *in vivo* (A), técnica de impregnación con nitrato de plata (C-D). A. Forma típica de la célula, vista central; B. Representación esquemática de la morfología general; C. Aparato nuclear (micrografía en negativos); D. Vista dorsal del cuerpo. Abreviaturas: cirros frontoventrales (CFV), cirros transversales (CT), macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM). Flechas negras señalan glóbulos brillantes, flechas rosas señalan cirros caudales, flechas azules señalan cirros marginales, flechas blancas señalan cinetias dorsolaterales. Escala: 50  $\mu$ m (A-C), 20  $\mu$ m (Fig. 13D).

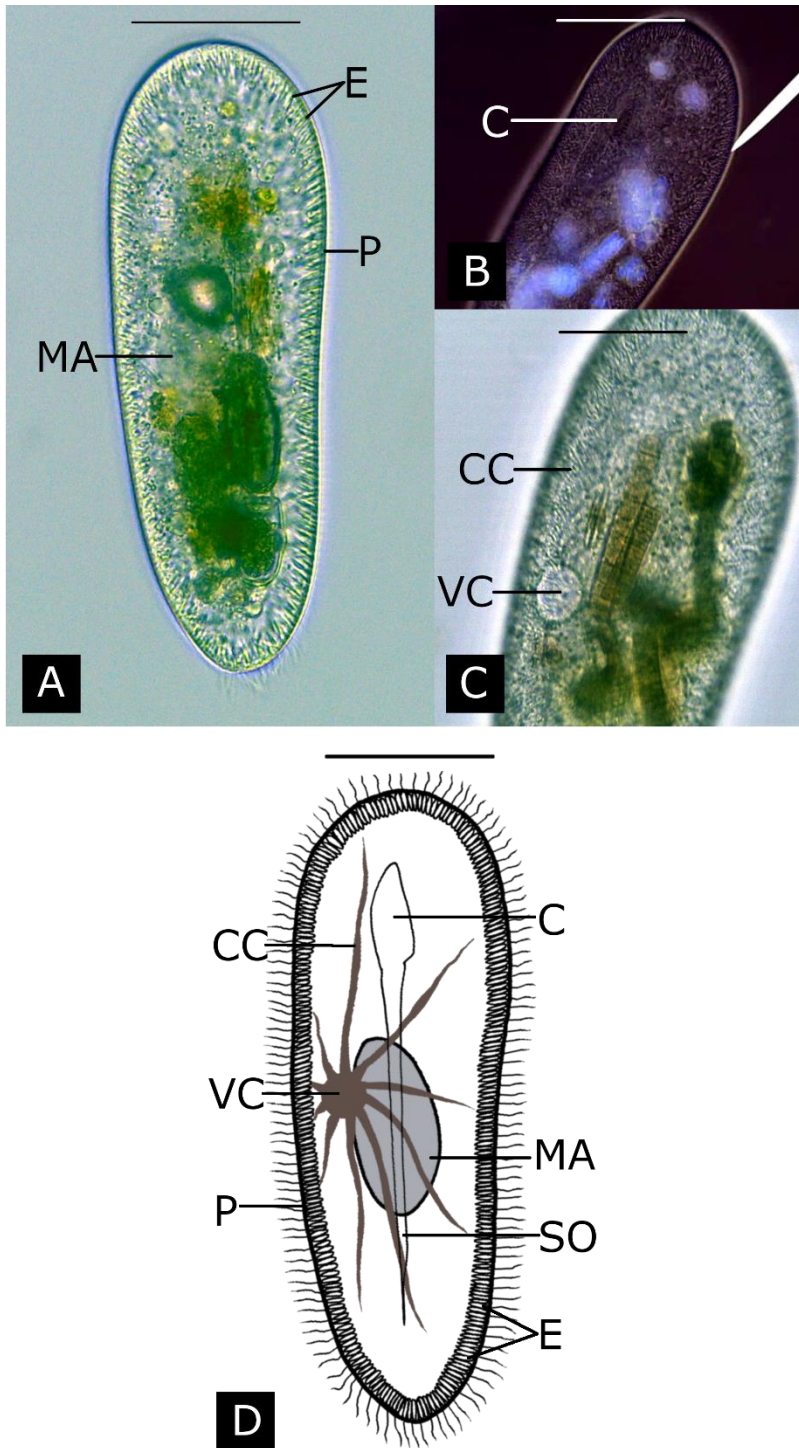
## 12. *Frontonia* sp. 1

**Descripción.** Célula elipsoidal, con el extremo anterior más ancho que el posterior (Fig. 15A); el tamaño del cuerpo es de 205.878 – 253.758  $\mu\text{m}$  de largo por 70.381 – 91.566  $\mu\text{m}$  de ancho; el citostoma que tiene forma triangular se ubica en el tercio anterior del cuerpo y presenta una sutura que corre hasta la parte posterior del cuerpo (Fig. 15B y D); presencia de una única vacuola contráctil posicionada en la parte media del cuerpo, con canales colectores muy largos (Fig. 15C-D); los extrusomas son fusiformes y forman una costura muy distintiva en todo el contorno de la célula por debajo de la película (Fig. 15A y D); el macronúcleo es elipsoidal y se posiciona en la región media de la célula (Fig. 15A y D).

**Comentarios.** Los ciliados pertenecientes a este género se encuentran en ambientes marinos, de agua dulce y salobres. Para discriminar entre las especies es necesario, por lo menos, determinar el tamaño y la forma de la célula, el número y la posición de las vacuolas contráctiles y la morfología del aparato oral, así como el patrón de ciliatura somática con su distintiva sutura preoral y postoral, por lo que las observaciones *in vivo*, así como las técnicas de impregnación, son necesarias (Chen *et al.*, 2014; Cai *et al.*, 2018).

Dado que fue imposible fijar estos organismos para impregnación de plata y las observaciones fueron meramente *in vivo*, no es posible determinar a nivel de especie. Si bien algunos de las características *in vivo* son muy notables en las micrografías, no se perciben los poros excretores, ni todos los canales de la vacuola contráctil. Tampoco fue posible determinar el número de micronúcleos y la composición de la boca o de la infraciliatura somática.

Las especies *Frontonia leucas* Ehrenberg, 1833, *F. acuminata* Ehrenberg, 1834 y *F. marina* Fabre-Domergue, 1891, habían sido registradas con anterioridad en México, la primera en los estados de Puebla y Campeche y las dos restantes en el estado de Veracruz, por lo que esta no es la primera vez que se registra al género en el país (Aladro-Lubel *et al.*, 2006), sin embargo, esta es la primera vez que se registra una morfoespecie de este género en el estado de Oaxaca.



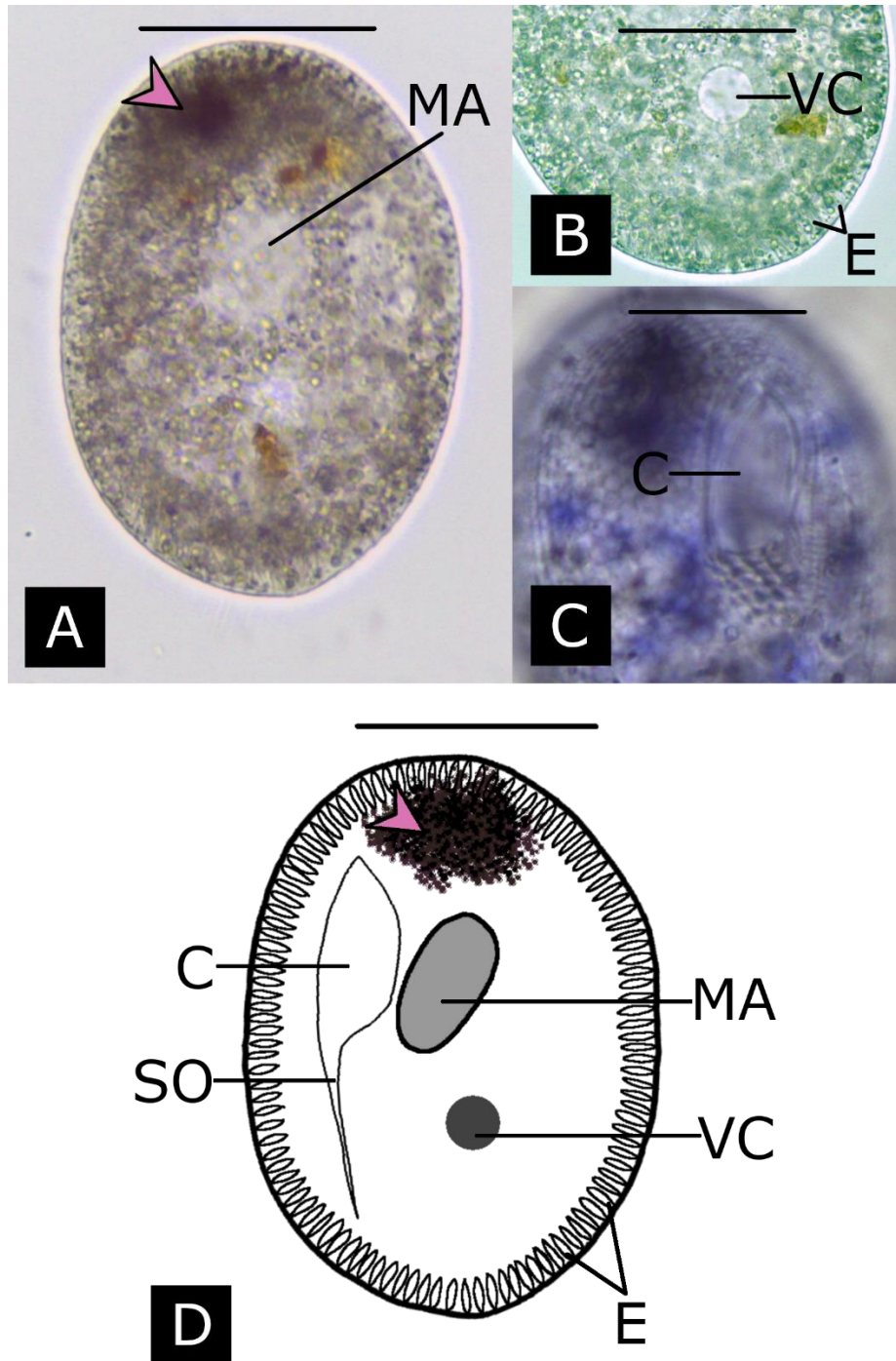
**Figura 15: *Frontonia* sp. 1:** Espécimen *in vivo* (A-C). **A.** Forma de la célula, vista ventral; **B.** Citostoma (micrografía en negativos); **C.** Vacuola contráctil y canales colectores; **D.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: citostoma (C), canal colector (CC), extrusomas (E), macronúcleo (MA), película (P), sutura oral (SO) vacuola contráctil (VC). Escala 50  $\mu$ m.

### 13. *Frontonia* sp. 2

**Descripción.** Célula ovalada, con el extremo posterior ligeramente picudo; con una mancha de pigmento en la parte anterior (Fig. 16A y D); el tamaño de la célula es de 79.518 – 90.139  $\mu\text{m}$  de largo por 45.052 – 52.882  $\mu\text{m}$  de ancho; macronúcleo elipsoidal que se ubica ligeramente por encima de la parte media del cuerpo (Fig. 16A y D); vacuola contráctil posicionada ligeramente por debajo de la zona media del cuerpo, sin canales colectores (Fig. 16B); el citostoma triangular se ubica en el tercio anterior del cuerpo (Fig. 16C-D); los extrusomas son fusiformes y forman una costura muy distintiva en todo el contorno de la célula por debajo de la película (Fig. 16B y D).

**Comentarios.** La forma y color de la célula, así como la presencia de una mancha de pigmento en la zona anterior del cuerpo, son características que se han identificado en por lo menos tres especies del género: *Frontonia atra* (Ehrenberg, 1833) Bütschli, 1889, *F. acuminata* (Ehrenberg, 1833) Bütschli, 1889 y *F. apoacuminata* Li *et al.*, 2021. Para realizar una correcta identificación a nivel de especie en el caso de los individuos encontrados en Piedra Azul, hacen falta datos como el número de poros excretorios en la vacuola contráctil, el número de micronúcleos y el número y arreglo de las cinetias orales y somáticas, caracteres que son determinantes para discriminar entre las especies de *Frontonia* anteriormente mencionadas (Li *et al.*, 2021).





**Figura 16: *Frontonia* sp. 2.** Espécimen *in vivo* (A-B), técnica de tinción con violeta cristal (C). **A.** Forma de la célula, vista dorsal; **B.** Vacuola contráctil y extrusomas; **C.** Región oral; **D.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: citostoma (C), extrusomas (E), macronúcleo (MA), sutura oral (SO), vacuola contráctil (VC), fechas rosas señalan masa de gránulos oscuros. Escala 50  $\mu\text{m}$  (A y D), 20  $\mu\text{m}$  (B-C).

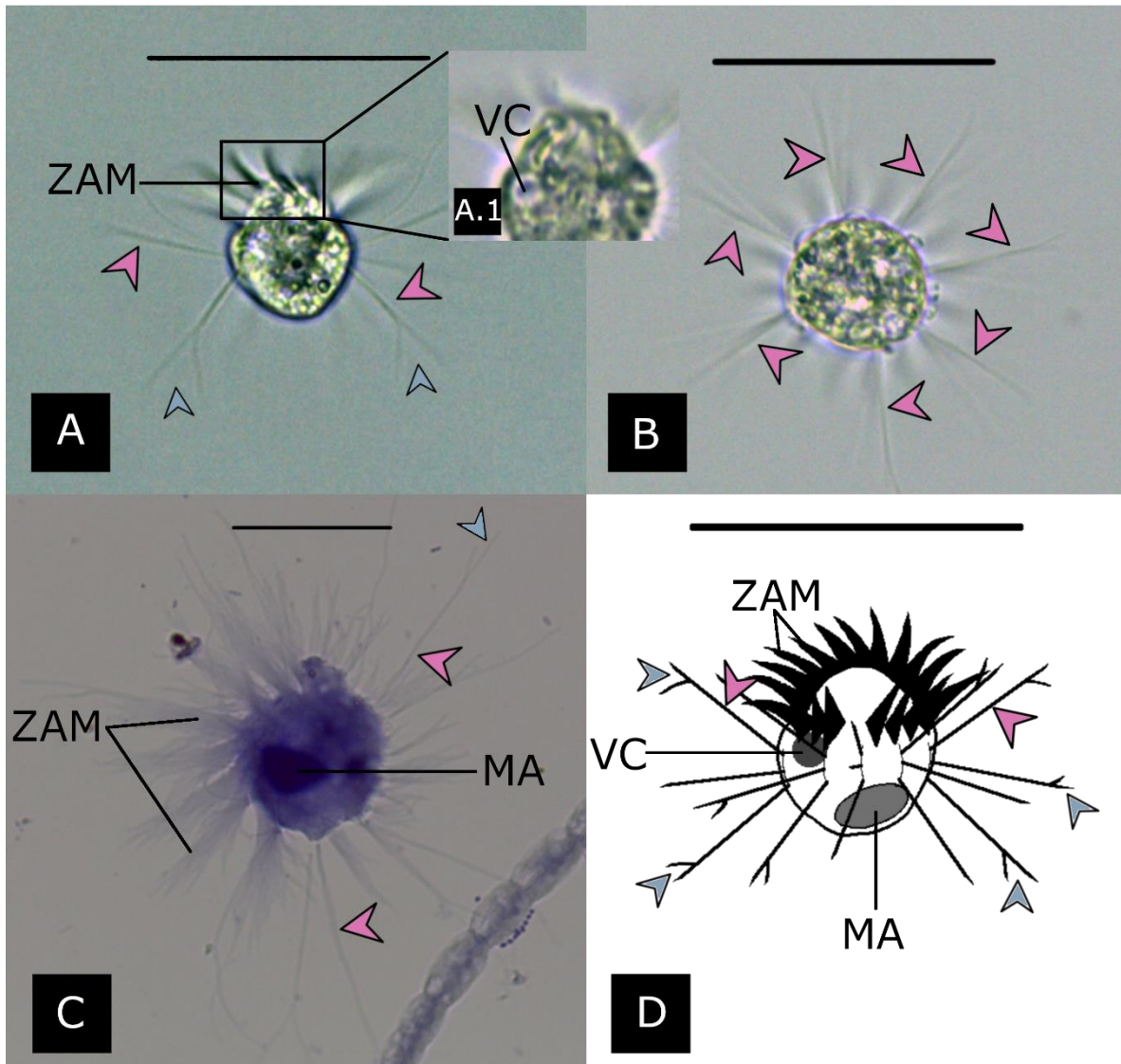
#### 14. *Halteria* sp.

**Descripción.** Células esféricas (Fig. 17A), de 22.771 – 25.740  $\mu\text{m}$  de largo por 22.208 – 24.284  $\mu\text{m}$  de ancho; en la región anterior del cuerpo se ubica la zona adoral de membranelas, la cual desemboca hacia el citostoma (Fig. 17A y D); vacuola contráctil ubicada de lado derecho del citostoma (Fig. 17A.1); en la región ecuatorial del cuerpo se perciben siete filas ciliares compuestas de grupos de cilios muy largos que permiten que los individuos se muevan saltando rápidamente, estos cilios pueden o no estar bifurcados hacia el final (Fig. 17B y D); el macronúcleo es ovalado y se encuentra en la zona central del cuerpo (Fig. 17C).

**Comentarios.** El género *Halteria* agrupa a por lo menos nueve especies que se distribuyen alrededor de todo el mundo y que son muy comunes en ambientes de agua dulce. La especie *H. grandinella* Müller, 1773 es la más común, y puede encontrarse en todas las estaciones del año (Agatha, 2009).

Los individuos encontrados en Piedra Azul comparten algunas características con la especie *H. grandinella* (los intervalos de tamaño, la forma del cuerpo, la forma del macronúcleo, la posición de la vacuola y el número de filas ciliares en la zona ecuatorial del cuerpo), sin embargo, no se pudo determinar el número de membranelas en la zona adoral, ni la composición de las filas ciliares ecuatoriales, dos características importantes para determinar a nivel de especie (Foissner *et al.*, 1991; Agatha, 2009).

Anteriormente, Méndez-Sánchez (2017) registró la presencia del género *Halteria* en el Lago Analco y la Presa la Azucena en el estado de Oaxaca.



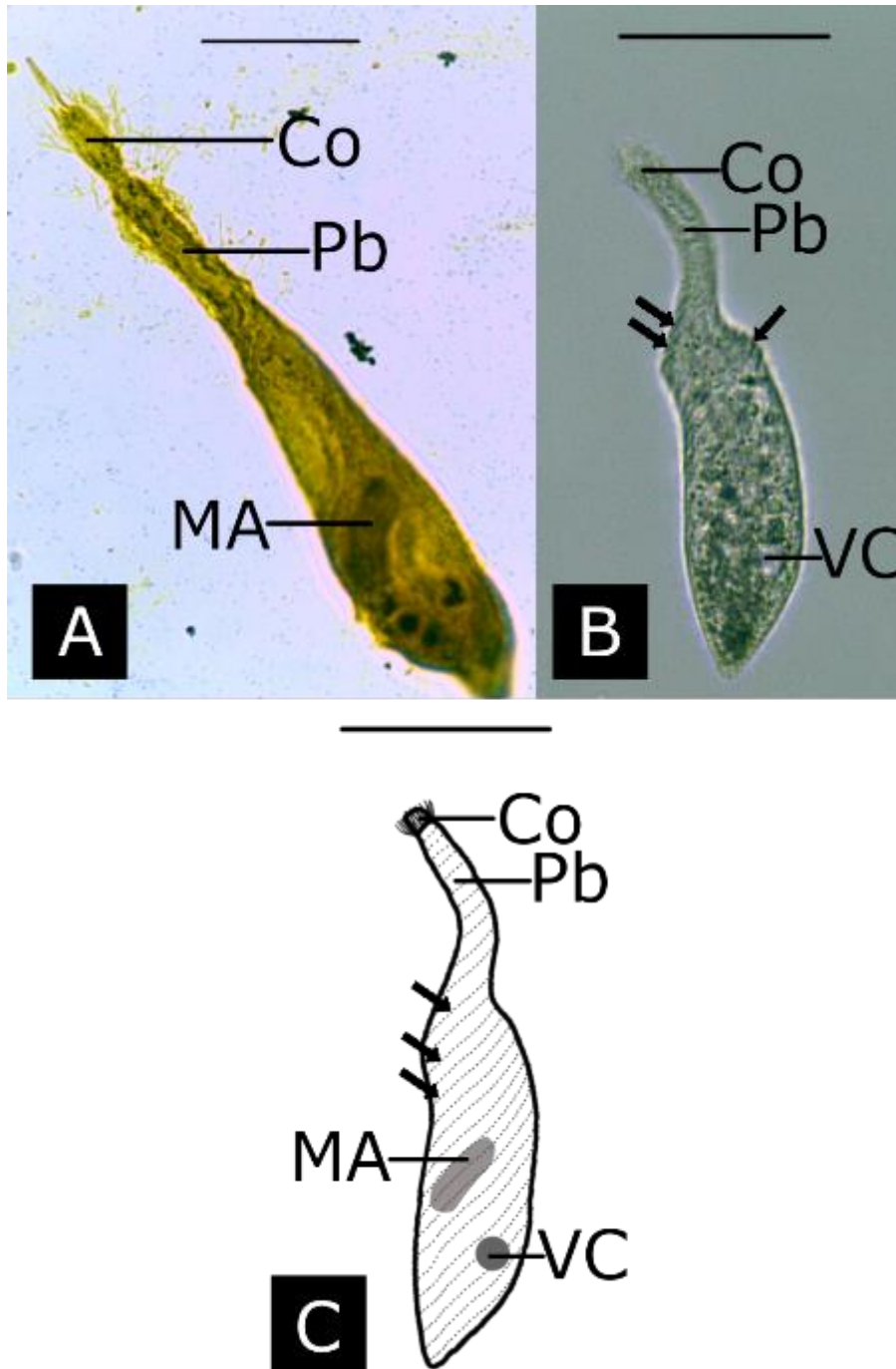
**Figura 17:** *Halteria* sp. Especímen *in vivo* (A-B), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (C). A. Forma de la célula, vista ventral; A.1. Vacuola contráctil; B. Vista inferior del cuerpo; C. Aparato nuclear, vista inferior del cuerpo; D. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM), flechas rosas señalan cilios ecuatoriales, flechas azules señalan bifurcaciones de los cilios. Escala: 50  $\mu\text{m}$  (A), 20  $\mu\text{m}$  (B-C).

## 15. *Lacrymaria sp.*

**Descripción.** Tamaño variable, entre 158.952 – 167.168  $\mu\text{m}$  de largo cuando está contraído, a 300.850 – 315.620  $\mu\text{m}$  cuando está extendido; células en forma de botella cuando se encuentran contraídas (Fig. 18A-B); sin embargo, cuando la célula se extiende por completo puede llegar a ser muy larga; se aprecian tres partes en el cuerpo: tronco, cuello o probóscide -extremadamente extensible- y cabeza -cono oral-; son células libres nadadoras; el cuerpo está completamente cubierto de cilios, y cuando la célula se contrae, las cinetias adquieren un arreglo en espiral (Fig. 18B-C); el macronúcleo elipsoidal está ubicado en la parte inferior del tronco (Fig. 18A); vacuola contráctil posicionada terminalmente (Fig. 18B-C).

**Comentarios.** Las características de los individuos observados en la Presa Piedra Azul son consistentes con aquellas mencionadas por Lynn (2008) para el género *Lacrymaria*, sin embargo, no se pudo determinar a nivel de especie dado que sólo un individuo pudo ser fijado con la técnica de impregnación con plata, además, debido a que es un organismo que se deforma con regularidad y a que se mueve rápidamente, resultó complicado realizar las observaciones *in vivo*.

Anteriormente, en México se han registrado por lo menos diez especies del género *Lacrymaria* (Aladro-Lubel, 2006; Méndez-Sánchez, 2017). En Oaxaca, Méndez-Sánchez (2017) registró al género por primera vez en la localidad Lago Analco.



**Figura 18:** *Lacrymaria* sp. Técnica de impregnación con nitrato de plata (A), Espécimen *in vivo* (B). A. Aparato nuclear, vista ventral; B. Célula contraída, vista ventral; C. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: cono oral o cabeza (Co), macronúcleo (MA), probóscide o cuello (Pb), vacuola contráctil (VC), flechas negras señalan cinetias somáticas. Escala 20  $\mu\text{m}$  (A), 50  $\mu\text{m}$  (B-C).

## 16. *Lembadion* sp.

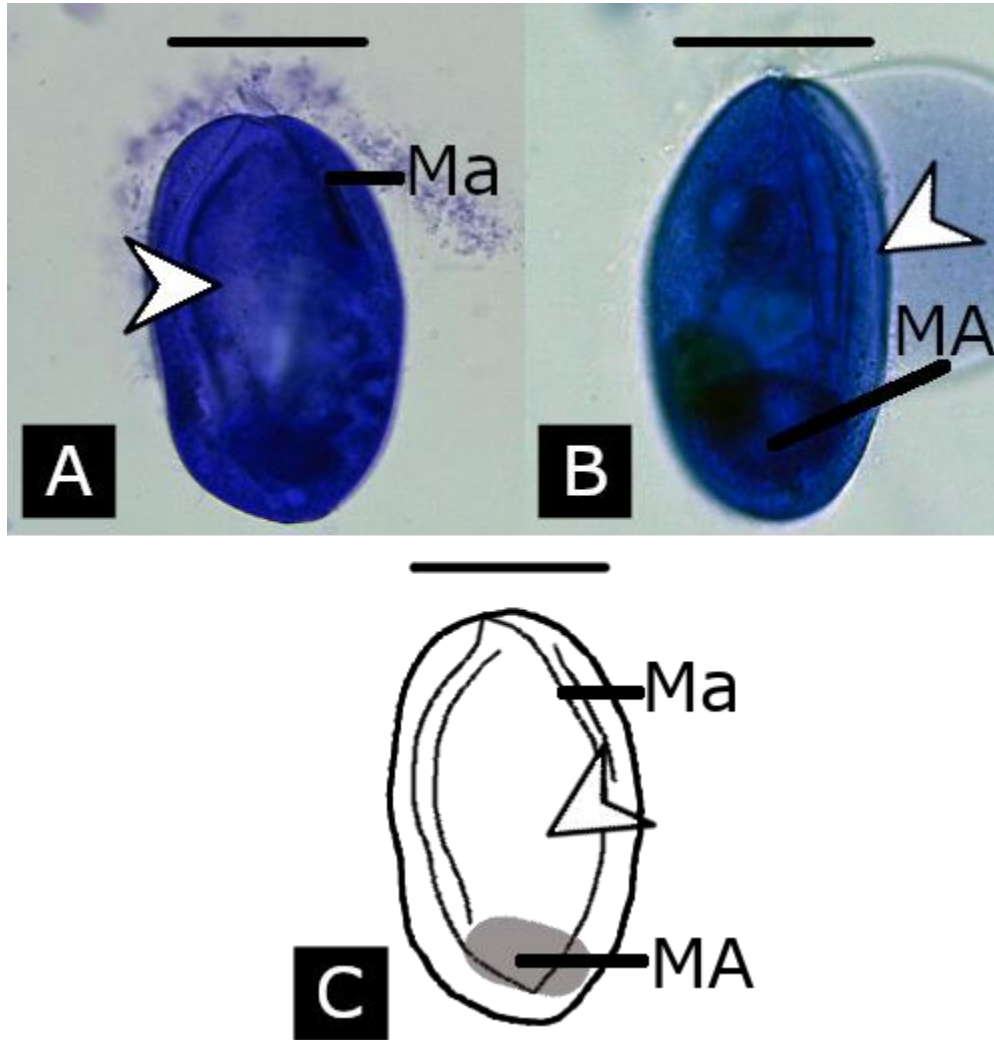
**Descripción.** Célula oval, con una cavidad oral muy grande y visible que ocupa más del 80% de la longitud total del cuerpo (Fig. 19A y C); la célula mide 102.985  $\mu\text{m}$  de largo por 63.184  $\mu\text{m}$  de ancho; macronúcleo elipsoidal ubicado en la parte posterior del cuerpo (Fig. 19B-C); no se observan cilios caudales.

**Comentarios.** De acuerdo con Lynn (2008) los miembros de este género se caracterizan por su forma oval, la ciliatura que cubre todo el cuerpo y, principalmente, por la gran región oral compuesta por una policinétida larga, dos cinetismos parorales y tres líneas argentófilas.

Dentro de la familia Lembadionidae sólo se clasifica el género *Lembadion* que, mediante observaciones *in vivo*, se puede identificar por la gran región oral. Hay por lo menos 20 especies descritas dentro del género, pero sólo cinco de ellas son válidas: *Lembadion bullinum* Müller, 1786, *L. lucens* (Maskell, 1887), Kahl, 1931, *L. magnum* (Stokes, 1887), *L. conchoides* Fauré-Fremiet, 1924 y *L. gabonensis* Dragesco, 1965. Estas especies se pueden distinguir entre sí por el tamaño y forma de la célula, el tamaño de la región oral, el patrón de líneas en la película y por la presencia/ausencia de cilios caudales (Kim *et al.*, 2017).

Este género fue poco frecuente en la localidad Piedra Azul, se registró sólo en dos ocasiones, de las cuales únicamente en una se le pudo fotografiar y teñir con colorantes vitales. No se puede determinar a nivel de especie debido a la falta de técnicas de impregnación y a que las características observables *in vivo* no son suficientes para la determinación más allá del género.

Méndez-Sánchez (2017) registró con anterioridad la presencia de la especie *Lembadion lucens* en las localidades Lago Analco y Presa la Azucena en el estado de Oaxaca. Esta especie difiere de la encontrada en Piedra Azul tanto por el tamaño (es más chica) y por la presencia de cilios caudales.



**Figura 19:** *Lembadion* sp. Técnica de tinción con azul de metileno (A-B). **A.** Forma de la célula, vista ventral; **B.** Aparato nuclear, vista lateral; **C.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: membranelas adorales (**Ma**), macronúcleo (**MA**), flechas blancas señalan región oral. Escala: 50  $\mu$ m.

## 17. *Loxodes striatus*

**Descripción.** El tamaño de la célula es de 202.078 – 228.346  $\mu\text{m}$  por 38.697 – 56.849  $\mu\text{m}$  de ancho; la región anterior termina en pico, mientras que la parte posterior del cuerpo está redondeada (Fig. 20A-C); cuerpo muy flexible, no contráctil; los gránulos corticales son marrones y se distribuyen por todo el cuerpo (Fig. 20A.1); presencia de dos grupos nucleares, uno en la región anterior y otro en la posterior, cada grupo compuesto de un macronúcleo y un micronúcleo (Fig. 20B); no hay presencia de vacuolas contráctiles.

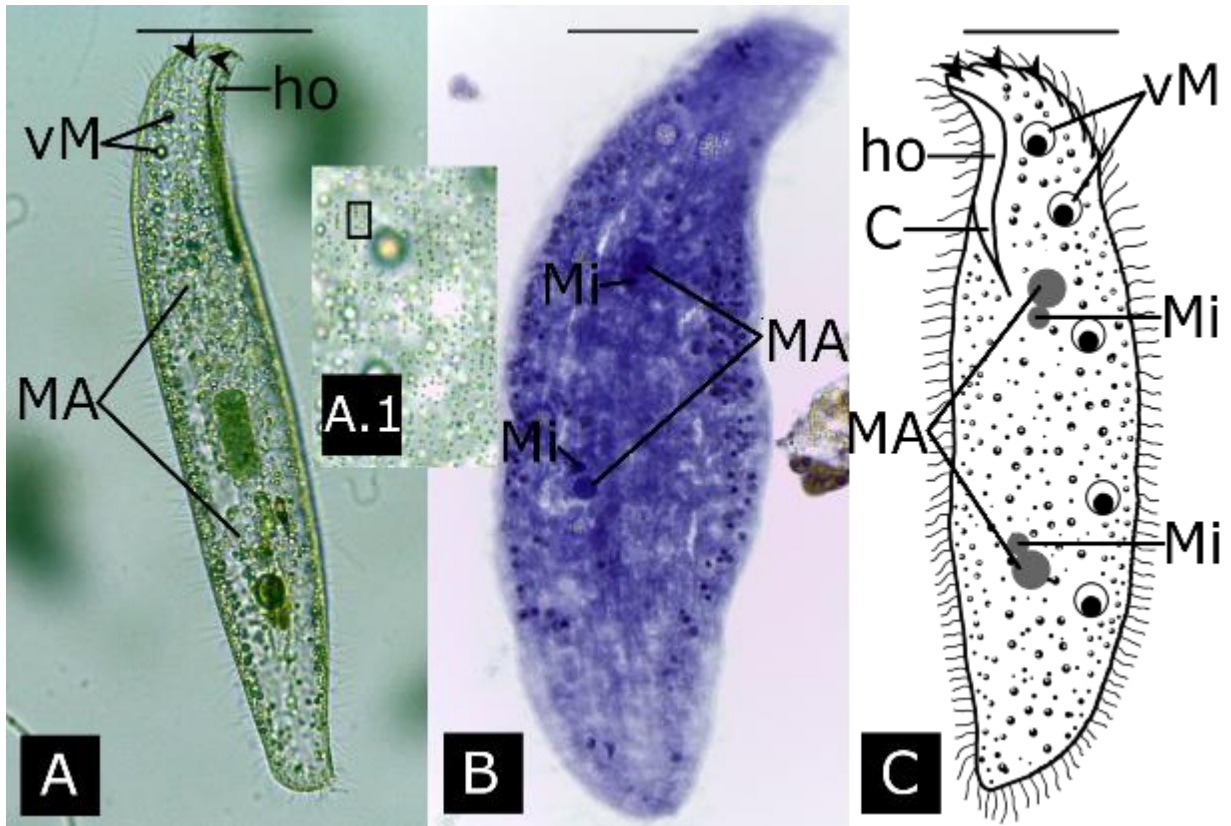
**Comentarios.** De acuerdo con Méndez-Sánchez *et al.* (2022), el género más parecido a *Loxodes* es *Remanella* Foissner, 1996, sin embargo, este último se compone de especies que son puramente marinas. *Loxodes*, por otro lado, se compone de especies de agua dulce que se caracterizan por poseer un rostrum que termina en pico y por la presencia de vesículas de Müller.

Hay por lo menos siete especies reconocidas dentro del género *Loxodes* que se pueden separar en dos grupos morfológicos basados en los grupos nucleares: el grupo A que incluye especies con un solo grupo nuclear (dos macronúcleos y un micronúcleo) y el grupo B que incluye especies con más de un grupo nuclear (Méndez-Sánchez *et al.*, 2022).

Las características presentes en los individuos encontrados en Piedra Azul coinciden con las descripciones de *L. striatus* presentadas por Xu *et al.* (2015) y por Méndez-Sánchez *et al.* (2022). Particularmente, esta especie se distingue de otras por la posición y conformación de sus dos grupos nucleares.

Anteriormente, en el estado de Oaxaca se había registrado la presencia de la especie *L. striatus* en las localidades Lago Analco y Presa la Azucena (Méndez-Sánchez, 2017).





**Figura 20:** *Loxodes striatus*. Espécimen *in vivo* (A-A.1), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (B). A. Forma de la célula, lado derecho del cuerpo; A.1. Gránulos corticales; B. Aparato nuclear, lado derecho del cuerpo; C. Representación esquemática de la morfología general, lado izquierdo del cuerpo. Abreviaturas: citostoma (C), hendidura oral (ho), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), vesículas de Müller (Vm), flechas negras señalan cinetias somáticas, recuadro encierra gránulos corticales. Escala: 50  $\mu\text{m}$  (A y C), 20  $\mu\text{m}$  (B)

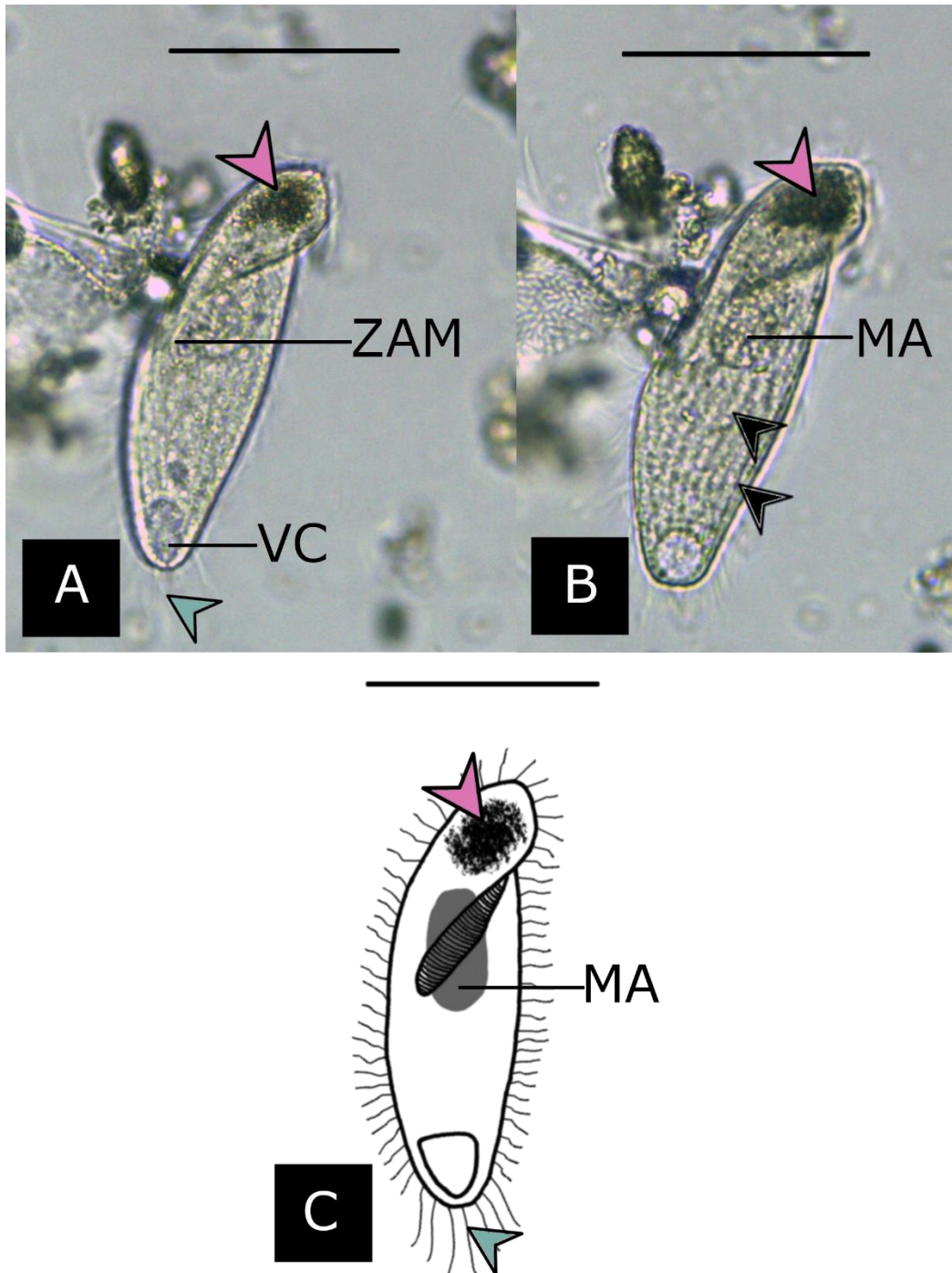
## 18. *Metopus* sp.

**Descripción.** Cuerpo en forma de “S”, con una torsión de la parte anterior y un lóbulo frontal que sobresale por encima de la zona adoral de membranelas (Fig. 21A); el largo de la célula es de 89.725 – 94.002  $\mu\text{m}$  por 25.269 – 29.518  $\mu\text{m}$  de ancho; el macronúcleo es bastante visible incluso sin colorantes vitales y se ubica en la zona anterior de la célula (Fig. 21B); en el extremo anterior se encuentra una masa de gránulos negros (Fig. 21); en la parte posterior es visible una vacuola contráctil, así como cilios caudales largos (Fig. 21A y C).

**Comentarios.** *Metopus* se caracteriza por la torción anterior del cuerpo, lo que le da esa forma tan característica de “S”. Al género se le separa en seis grupos dependiendo de la forma del cuerpo y las características del peristoma, con lo que se han determinado por lo menos 78 especies (Esteban *et al.*, 1995; Bourland *et al.*, 2014).

Las especies del género *Metopus* viven en ambientes anaerobios, por lo que son poco frecuentes (Esteban *et al.*, 1995; Bourland *et al.*, 2014). En Piedra Azul el género se observó en tres muestreos, siendo un poco más frecuente durante el muestreo de marzo de 2023. No obstante, la fijación de estos organismos no fue posible. Bourland *et al.* (2014) menciona que este género es problemático y que se necesitan datos morfológicos, morfométricos y ecológicos para una identificación más certera.

El género ha sido registrado con anterioridad en el estado de Oaxaca por Méndez-Sánchez (2017) en la localidad Lago Analco, aunque difiere en tamaño con respecto a los individuos encontrados en Piedra Azul, que son más pequeños.



**Figura 21:** *Metopus sp.* Espécimen *in vivo* (A-B). A-B. Forma de la célula, vista ventral; C. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM), flechas rosas señalan masa de gránulos oscuros, flechas azules señalan cilios caudales. Escala: 50  $\mu\text{m}$ .

## 19. *Paramecium bursaria* complejo

**Descripción.** El tamaño de la célula *in vivo* es de 101.184 µm de largo por 47.965 µm de ancho; cuerpo en forma de una huella ancha, con un extremo posterior redondeado y una parte anterior truncada dorsoventralmente (Fig. 22A); macronúcleo elipsoide ubicado aproximadamente a la mitad del cuerpo y un único micronúcleo presente, ubicado en la parte anterior izquierda del macronúcleo (Fig. 22A); presencia de dos vacuolas contráctiles, cada una con cinco canales radiales y al menos tres poros excretores difícilmente distinguibles debido a la presencia de numerosas algas simbióticas verdes en el interior del individuo (Fig. 22A.1 y B); extrusomas numerosos y fusiformes que forman una costura distintiva debajo de la película (Fig. 22A-B); en el extremo posterior de la célula se observa un grupo de cilios caudales, de apariencia más larga que los cilios somáticos que cubren al resto del cuerpo (Fig. 22A-B); aparato oral se ubica por debajo de la línea media del cuerpo (Fig. 22A-B). El individuo permaneció estático por un buen rato, sin embargo, se le observó nadando y rotando en sentido contrario a las manecillas del reloj.

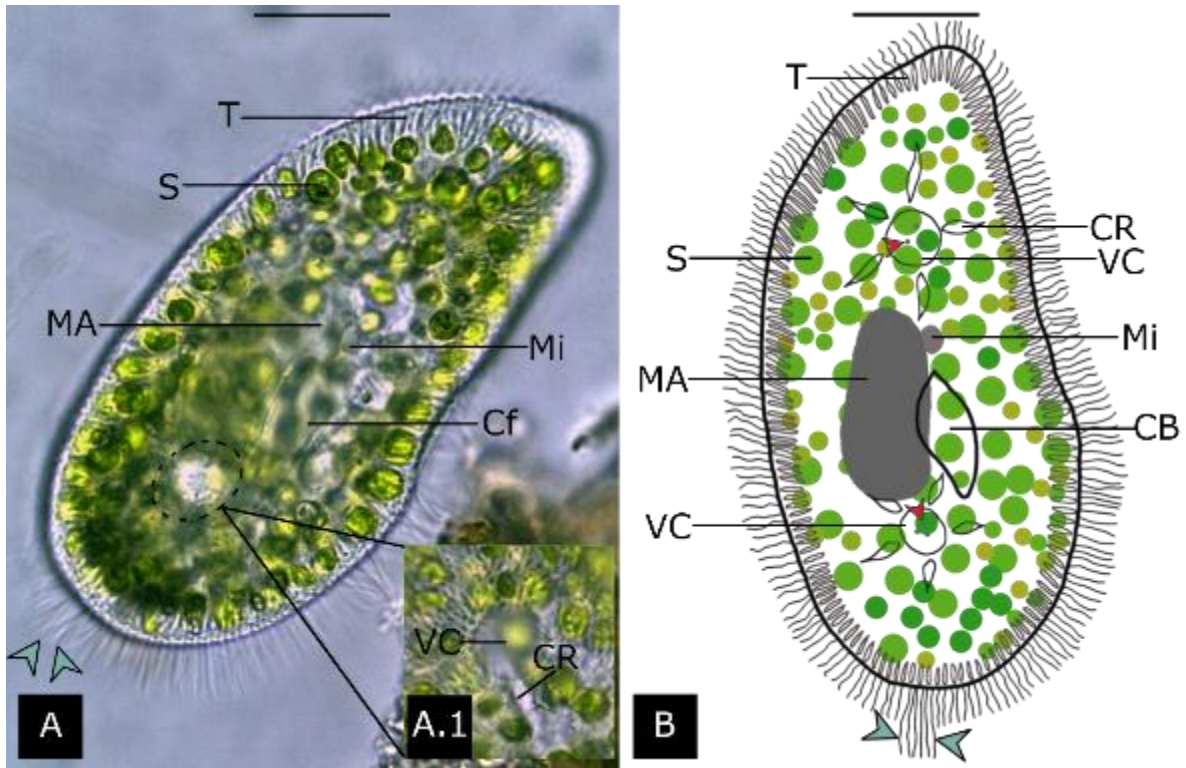
### **Comentarios.**

La gran mayoría de las características de este individuo encontrado en la presa corresponden con las descripciones registradas por Foissner *et al.* 1994 y Greczek-Stachura *et al.* (2021) para *P. bursaria*, sin embargo, la composición del aparato bucal descrita en Foissner *et al.* (1994) (en cuya pared izquierda se registran tres membranelas, cada una compuesta a su vez por cuatro filas de cuerpos basales con cilios largos) y los campos cuadrangulares de la película, no fueron observables debido a que no fue posible aislar al organismo para su fijación y posteriores técnicas de impregnación con nitrato de plata Klein, ni tampoco se tiñó con colorantes vitales. Una especie que es muy parecida a *Paramecium bursaria* es *P. chlorelligerum* Kahl, 1935. Kreutz *et al.* (2012) mencionan que algunas de las características que nos permiten distinguir entre *P. bursaria* y *P. chlorelligerum* las encontramos en las vacuolas contráctiles, en donde *P. bursaria* tiene canales colectores radiales y *P. chlorelligerum* cuenta con vesículas parecidas a vacuolas, es decir, son redondas. Además, mencionan que el número de poros excretores difiere (2-3 poros por vacuola vs. un solo poro por vacuola). En el individuo observado en la Presa Piedra Azul, las vacuolas claramente estaban compuestas por canales radiales y contaban con tres poros excretores.

En este trabajo se considera a *P. bursaria* como un complejo de especies y no como una sola especie pues, de acuerdo con Greczek-Stachura *et al.* (2021) *Paramecium bursaria* se constituye de por lo menos cinco especies crípticas que comparten morfología, que están restringidos a regiones biogeográficas particulares y que están aislados reproductivamente. Se ha demostrado que *P.*

*tetrabursaria* Greczek-Stachura *et al.* 2021 y *P. pentabursaria* Greczek-Stachura *et al.* 2021 son especies con distribución limitada, mientras que otras especies tienen un rango de ocurrencia mucho más amplio. *P. primabursaria* Greczek-Stachura *et al.* 2021 y *P. bibursari* Greczek-Stachura *et al.* 2021 se localiza en Europa y Asia central, *P. tribursaria* Greczek-Stachura *et al.* 2021 se distribuye en Asia oriental, Europa y América del Norte, *P. tetrabursaria* se ha registrado sólo América del Norte y *P. pentabursaria* en Rusia occidental. Debido a que la morfología entre estas especies es bastante parecida, lo ideal es realizar un análisis molecular para discriminar entre ellas.

La especie *P. bursaria* había sido registrada previamente en el estado de Oaxaca en la localidad “Lago Analco” por Méndez-Sánchez (2017).



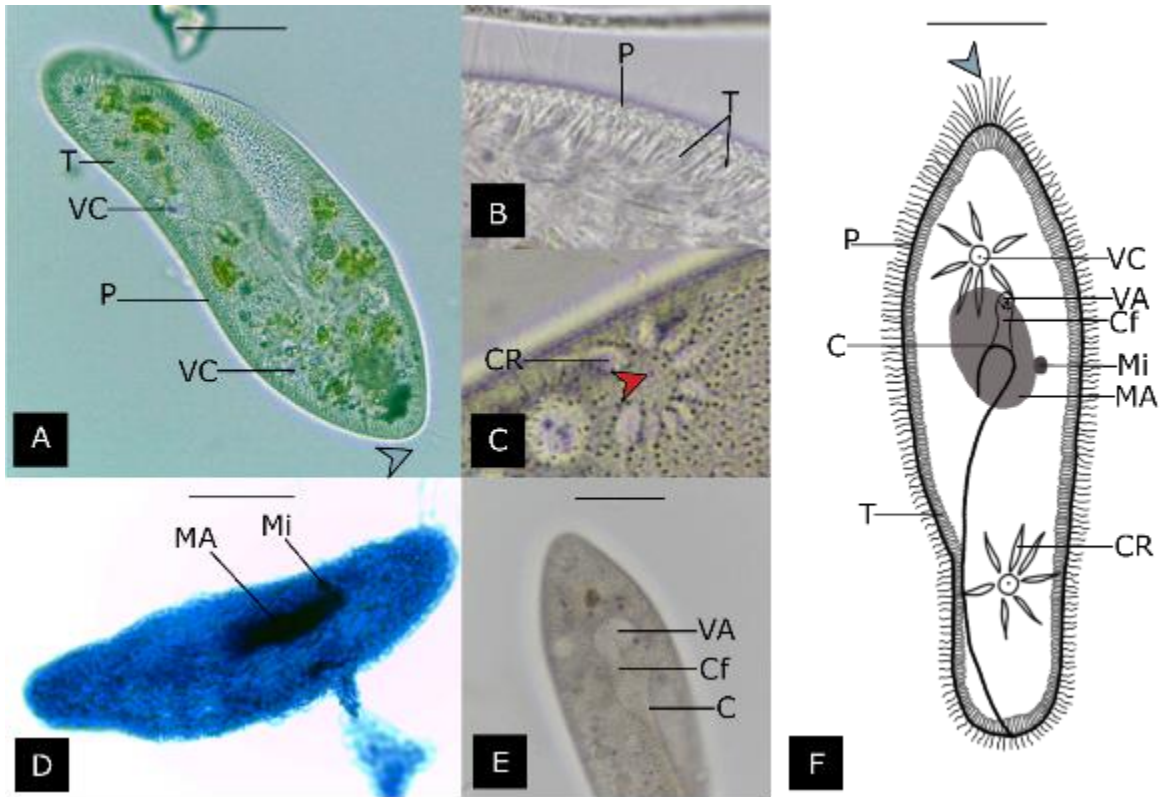
**Figura 22: *Paramecium bursaria* complejo.** Espécimen *in vivo* (A). A. Forma de la célula, vista ventral; B. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: cavidad bucal (CB), citofaringe (Cf), canal radial (CR), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), simbiote (S), tricocistos (T), vacuola contráctil (VC), flechas azules señalan cilios caudales, flechas rojas señalan poros excretorios. Escala: 20  $\mu$ m.

## 20. *Paramecium caudatum*

**Descripción.** La célula tiene forma de zapato, con un extremo anterior ampliamente redondeado y un extremo posterior cónico muy redondeado, su longitud es de 194.764 – 297.268  $\mu\text{m}$  (Fig. 23A y F); citoplasma incoloro, aunque a veces se percibe como grisáceo; los extrusomas fusiformes son numerosos y forman una costura distintiva debajo de la película (Fig. 23B); presencia de dos vacuolas contráctiles (una en el tercio anterior de la célula y otra en el tercio posterior), cada una con un solo poro excretor y alrededor de 7-9 canales colectores radiales largos (Fig. 23A y C); el macronúcleo es elipsoide y se ubica aproximadamente a la mitad del cuerpo, cuenta, además, con un único micronúcleo esférico que se encuentra muy cercano al macronúcleo (Fig. 23D); el extremo posterior de la célula cuenta con cilios caudales largos (Fig. 23A-F). El aparato oral se ubica ligeramente por debajo de la línea media del cuerpo (Fig. 23E).

**Comentarios.** De acuerdo con Greczek-Stachura *et al.* (2021) existen por lo menos 20 especies dentro del género *Paramecium*. Para la discriminación de especies es necesario contar con el número de micronúcleos y la estructura de la vacuola contráctil. Folkin (2010) ubica a *P. caudatum* dentro del grupo “aurelia” debido a la forma de la célula. Tanto *P. aurelia* Ehrenberg, 1838 como *P. caudatum* cuentan con un solo poro excretor por vacuola contráctil, no obstante, podemos diferenciar entre ambas especies debido al tamaño de la célula (*P. aurelia* mide entre 120-170  $\mu\text{m}$  y *P. caudatum* mide entre 170-300  $\mu\text{m}$  de largo), *P. caudatum* tiene un extremo posterior más puntiagudo y un solo micronúcleo, a diferencia de *P. aurelia* que tiene al menos dos. Otra especie muy parecida a *P. caudatum* es *P. multimicronucleatum* Powers *et Mitchel*, 1910, pues coinciden en cuanto al tamaño de la célula, la forma, el número y el tipo de canales colectores. La característica principal que nos permite distinguir entre *P. caudatum* y *P. multimicronucleatum* es el número de micronúcleos (uno vs. numerosos) (Folkin, 2010). Folkin (2010) menciona que el tamaño de la célula también es una característica que debe tomarse en cuenta para la discriminación de especies de *Paramecium*; no obstante, también apunta que en la mayoría de las especies que llegó a registrar, la variación de la longitud fue bastante significativa entre distintas poblaciones e incluso dentro de cultivos clonales, lo que coincide con lo registrado por Foissner *et al.* (1994) y Kim (2015), quienes señalaron intervalos de tamaño para *P. caudatum* que van de los 170-300  $\mu\text{m}$  y 195-263  $\mu\text{m}$  de largo respectivamente.

Esta especie había sido registrada previamente en el estado de Oaxaca en las localidades “Lago Analco” y “Presa La Azucena” por Méndez-Sánchez (2017).



**Figura 23: *Paramecium caudatum*.** Espécimen *in vivo* (A, B, C, E), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (B). A. Forma de la célula, vista ventral; B. Acercamiento a la zona marginal de la célula; C. Conformación de la vacuola contráctil; D. Aparato nuclear; E. Región oral, región posterior del cuerpo; F. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: canal radial (CR), citofaringe (Cf), citostoma (C), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), película (P), tricocistos (T), vacuola alimenticia (VA), vacuola contráctil (VC), flechas azules señalan cilios caudales, flechas rojas señalan poros excretorios. Escala: 50  $\mu$ m.



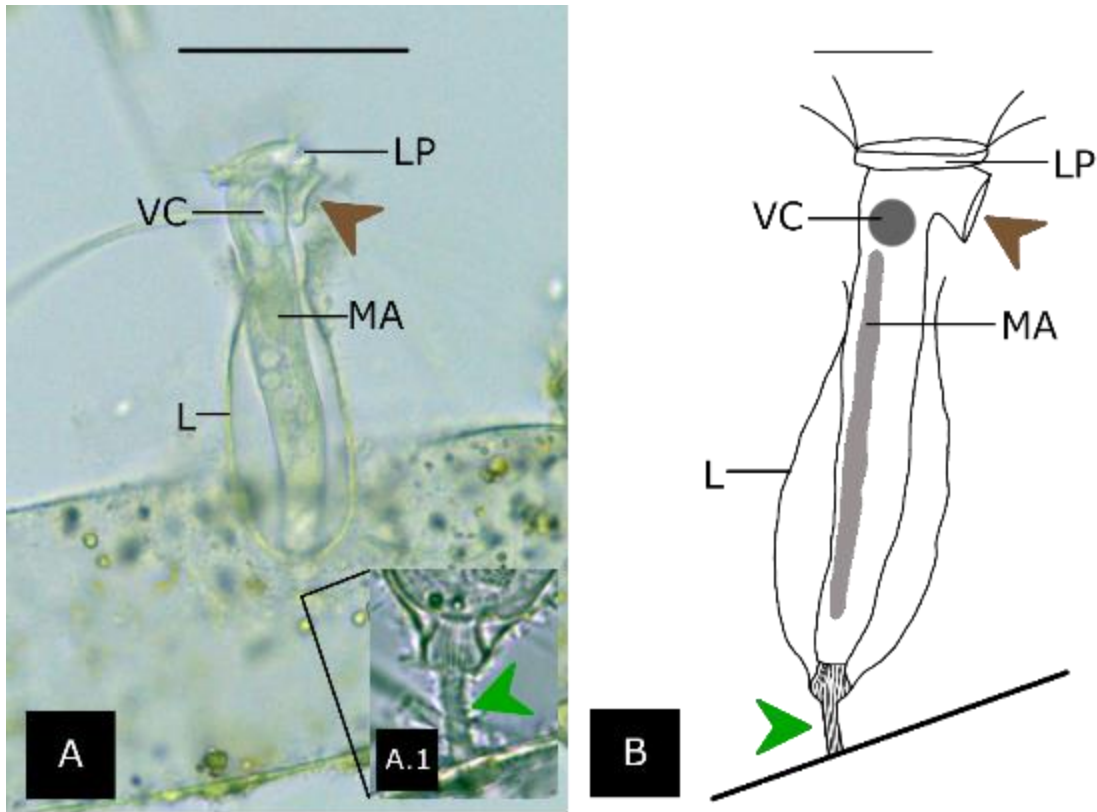
## 21. *Pyxicola* sp.

**Descripción.** Zooide con forma de trompeta cuando está completamente extendido (Fig. 24A); el tamaño de la célula es de 84.506 – 86.582  $\mu\text{m}$  de largo por 10.023 – 10.804  $\mu\text{m}$  de ancho, mientras que el tamaño de la lórica es de 76.326 – 77.407  $\mu\text{m}$  de longitud por 24.308 - 26.823  $\mu\text{m}$  de ancho (en la zona más ancha) y 12.125 – 13.524  $\mu\text{m}$  de diámetro el extremo anterior; el macronúcleo es difícilmente perceptible, aunque tiene una apariencia vermiforme (Fig. 24B); posee un opérculo justo debajo del labio peristomal (Fig. 24), el cual permite a la célula sellarse en la lórica al momento de contraerse; la lórica tiene apariencia de copa, con un pedúnculo externo estriado y no contráctil en el extremo posterior (Fig. 24A.1-B), el pedúnculo mide 12.124 – 13.252  $\mu\text{m}$  de longitud; la porción anterior de la lórica es oblicua y forma una especie de “cuello”, está es translúcida y lisa (Fig. 24).

**Comentarios.** De acuerdo con Lu *et al.* (2019), los miembros de la familia Vaginicolidae son organismos sésiles que se caracterizan por poseer una lórica. Sin embargo, las identificaciones pueden ser confusas debido a que los géneros muchas veces tienen una apariencia muy similar; los congéneros comparten una forma del cuerpo prácticamente idéntica y, aunque la presencia de la lórica es un carácter clave para la identificación de estos organismos, algunas descripciones a nivel de especie están incompletas.

Lu *et al.* (2019) separa a la familia Vaginicolidae en cuatro géneros que se pueden discriminar entre sí debido a la presencia/ausencia de pedúnculos internos o externos y a la presencia/ausencia de valvas (en la lórica) o de opérculos (en el zooide).

Los individuos encontrados en el arroyo de la localidad de Piedra Azul corresponden con las características que distinguen al género *Pyxicola*. Este género es muy parecido al género *Conthurnia* Ehrenberg, 1831 debido a que la lórica en ambos casos posee un tallo externo no contráctil, no obstante, *Conthurnia* carece de un opérculo debajo del labio peristomal. Por otro lado, el género *Thuricola* también posee un tallo, sin embargo, éste es interno, y en lugar de opérculo, la lórica tiene una o dos valvas (Lu *et al.*, 2019). Los miembros de *Pyxicola* siempre se encuentran solitarios dentro de la lórica (Trueba, 1978; Lu *et al.*, 2019).



**Figura 24: *Pyxicola* sp.** Espécimen *in vivo* (A-A.1). **A.** Forma de la célula; **A.1.** Pedúnculo; **B.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: labio peristomal (**LP**), lórica (**L**), macronúcleo (**MA**), vacuola contráctil (**VC**), flechas verdes señalan pedúnculo exterior estriado longitudinalmente, flecha café señala opérculo. Escala: 50  $\mu$ m (A), 20  $\mu$ m (B).

## 22. *Spirostomum subtilis*

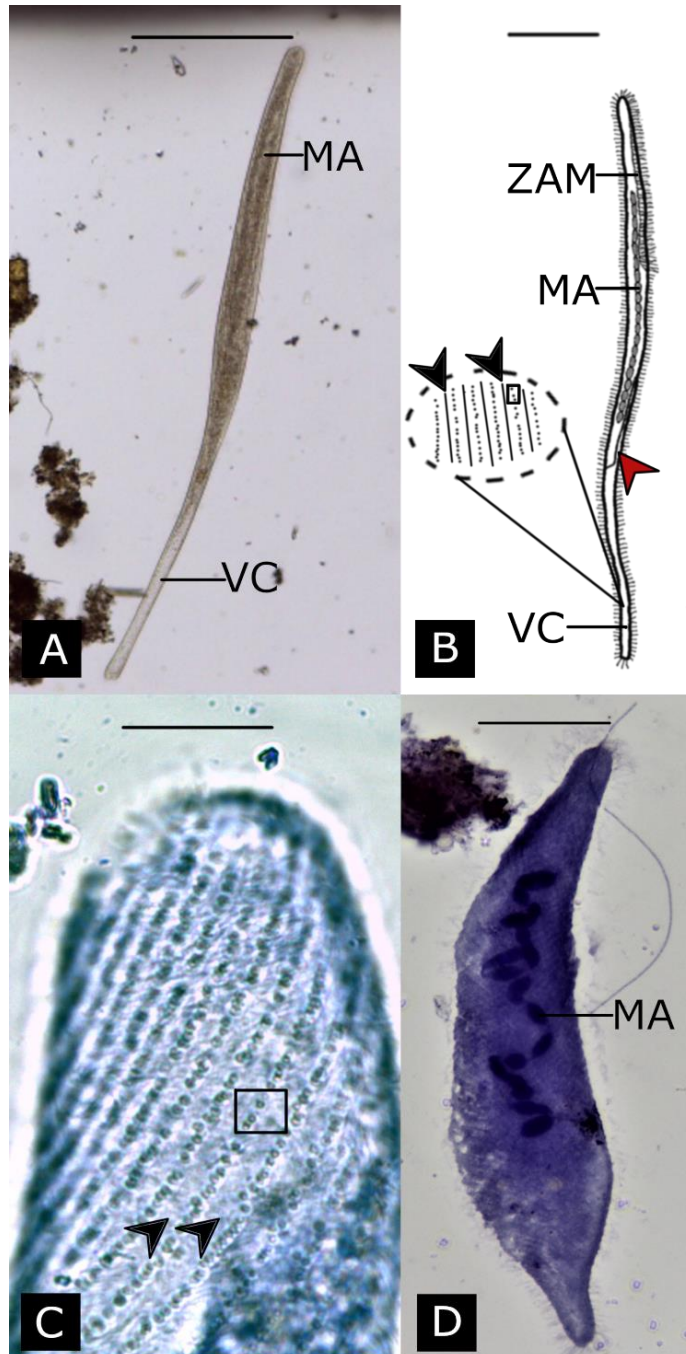
**Descripción.** El tamaño de la célula es de 841.202 – 1233.109  $\mu\text{m}$  de largo por 42.397 – 50.918  $\mu\text{m}$  de ancho. Es, por lo menos, veinte veces más largo que ancho; cuerpo alargado, vermiforme y delgado cuando está completamente extendido (Fig. 25A-B); al observar a objetivos bajos (4x), la célula se percibe oscura (excepto del extremo posterior) (Fig. 25A); cuando la célula se contrae tiene forma lanceolada (Fig. 25D); la zona adoral de membranelas abarca más del 30% de la longitud total del cuerpo; los gránulos corticales son grisáceos y se encuentran dispuestos en una sola fila entre filas ciliares adyacentes (Fig. 25C); macronúcleo moniliforme (en forma de rosario de cuentas) compuesto de 16-18 nódulos (Fig. 25D); vacuola contráctil conspicua posicionada caudalmente, con un canal largo que se extiende hacia la parte anterior del cuerpo (Fig. 25A-B); las células usualmente se encontraban debajo de la materia orgánica y poseían un movimiento bastante activo.

**Comentarios.** Existen nueve especies válidas incluidas dentro del género *Spirostomum* que se caracterizan por tener un cuerpo alargado, vermiforme o en forma de banda que se contrae en forma de espiral. El cuerpo está completamente cubierto de cilios y tienen una vacuola contráctil posicionada terminalmente. Los caracteres morfológicos que nos permiten distinguir entre especies son: la infraciliatura, el aparato nuclear, los gránulos corticales y la presencia/ausencia de endosimbiontes (Boscaro *et al.*, 2014; Chi *et al.*, 2020).

Las características de los individuos encontrados en la localidad de Piedra Azul coinciden con aquellas registradas por Boscaro *et al.* (2014) cuando se describió por primera vez a la especie *S. subtilis*, y también con aquellas registradas por Chi *et al.* (2020) con su diagnóstico mejorado de la especie. No obstante, difieren en el tamaño. Ambos autores mencionan poblaciones que se encuentran entre el intervalo de 700-1000  $\mu\text{m}$  de longitud, mientras que, aunque algunos individuos encontrados en Piedra Azul entraban dentro del intervalo señalado, la mayoría de los individuos pasaban de 1000  $\mu\text{m}$ . Aunque no existen datos que expliquen la razón de la diferencia de tamaños, seguramente es un carácter que varía dependiendo de la población estudiada, pues mientras Boscaro *et al.* (2014) marcaron el máximo de longitud como 1000  $\mu\text{m}$ , Chi *et al.* (2020) señalaron que el máximo encontrado en la población que ellos analizaron fue de 1100  $\mu\text{m}$ .

Boscaro *et al.* (2014) mencionan que esta especie puede ser discriminada de entre otras morfoespecies de *Spirostomum* grandes y con macronúcleo moniliforme (como *S. ambiguum* Müller, 1786 y *S. minus* Roux, 1901) debido al arreglo de sus gránulos corticales (grisáceos, en una sola fila entre filas ciliares), una característica única.

Esta es la primera vez que se registra esta especie para México y el continente americano. Antes solamente se había registrado en Europa y China (Boscaro *et al.*, 2014; Chi *et al.*, 2020). En los muestreos realizados en la localidad de Piedra Azul, esta especie se registró en dos ocasiones: el muestreo de diciembre de 2021 y el de febrero de 2023.



**Figura 25: *Spirostomum subtilis*.** Espécimen *in vivo* (A), técnica de tinción con colorante violeta cristal (C), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (D). A. Forma de la célula, vista ventral; B. Representación esquemática de la morfología general; C. Arreglo de los gránulos corticales; D. Aparato nuclear, célula contraída. Abreviaturas: macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM), recuadro encierra gránulos corticales, flechas negras señalan cinetias somáticas, flecha roja señala canal colector. Escala: 200  $\mu\text{m}$  (A-B), 20  $\mu\text{m}$  (C), 50  $\mu\text{m}$  (D).

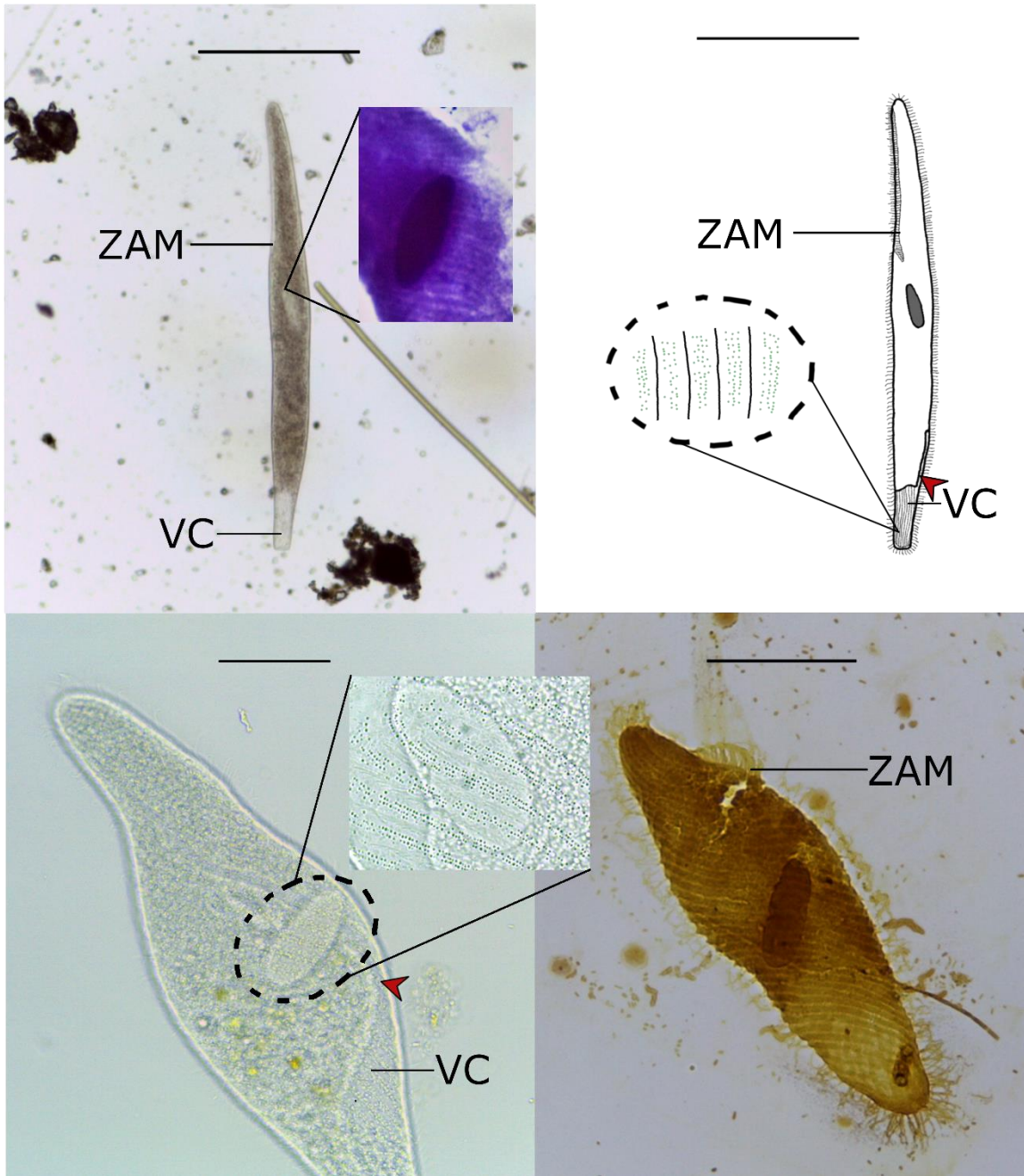
### 23. *Spirostomum teres*

**Descripción.** El tamaño de la célula es de 269.009 – 553.069  $\mu\text{m}$  de largo por 26.273 – 44.297  $\mu\text{m}$  de ancho. Es, por lo menos, nueve veces más largo que ancho; las células tienen forma de banda cuando están completamente extendidas (Fig. 26A-B); cuerpo lanceolado cuando está contraído (Fig. 26C-D); al observar a objetivos bajos (4x), la célula se observa ligeramente marrón (Fig. 26A); la zona adoral de membranelas abarca al menos 1/3 de la longitud total del cuerpo (Fig. 26A-B); los gránulos corticales son verde limón y se encuentran dispuestos en 3-4 filas entre filas ciliares (Fig. 26B y C.1); aparato nuclear constituido por un único macronúcleo elipsoide ubicado aproximadamente en la parte central del cuerpo (Fig. 26 A.1-D); vacuola contráctil con un canal colector largo que se extiende hacia la parte anterior del cuerpo (Fig. 26A-C); esta vacuola contráctil abarca por lo menos el 20% de la longitud total del cuerpo. Las células exhiben un movimiento activo y se arrastran entre la materia.

**Comentarios.** Las características de los individuos encontrados en la localidad de Piedra Azul son consistentes con lo registrado por Boscaro *et al.* (2014) y Chi *et al.* (2020) para la especie *Spirostomum teres*. El tamaño de las células, así como de distintas estructuras, entran dentro de los intervalos presentados por ambos autores. El color de las células, la forma del macronúcleo y el arreglo y color de los gránulos también son características que coinciden con los datos presentados en la literatura consultada.

*Spirostomum caudatum* Müller, 1786 y *S. yagiui* Shigenaka, 1959 son dos especies que, al igual que *S. teres*, tienen un solo macronúcleo. *Spirostomum yagiui* difiere de *S. teres* principalmente en la forma del macronúcleo (forma de varilla vs. elipsoidal), mientras que *S. caudatum* puede ser fácilmente separado de *S. teres* por la forma de la célula (*S. caudatum* termina en punta, como si tuviera una especie de “cola”, mientras que la forma de *S. teres* es bastante uniforme). Además, tanto *S. caudatum* como *S. yagiui* sólo han sido registradas en ambientes de agua salada, mientras que *S. teres* es una especie común en ambientes de agua dulce (Jang *et al.*, 2012; Boscaro *et al.*, 2014).

*Spirostomum teres* había sido registrada con anterioridad por Méndez-Sánchez (2017) en el Lago Analco y la Presa Azucena. En la localidad Piedra Azul fue una especie común y estuvo presente durante los cuatro muestreos realizados, tanto en el arroyo como en la presa.



**Figura 26: *Spirostomum teres*.** Especímenes *in vivo* (A, C y C.1), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (A.1), técnica de impregnación con nitrato de plata (D). A. Forma de la célula, vista ventral; A.1. Aparato nuclear; B. Representación esquemática de la morfología general; C. Forma de la célula contraída; C.1. Arreglo de los gránulos corticales; D. Ciliatura, célula contraída. Abreviaturas: macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM). El recuadro encierra gránulos corticales, flechas negras señalan cinetias somáticas, flechas rojas señalan canal colector. Escala: 200  $\mu\text{m}$  (A-B), 50  $\mu\text{m}$  (C-D).

## 24. *Stentor roeselii*

**Descripción.** El tamaño del cuerpo es de 794.907 – 816.060  $\mu\text{m}$  de largo cuando está completamente extendido, mientras que la zona oral mide 175.651 – 199.132  $\mu\text{m}$  de diámetro; cuando el espécimen se encuentra contraído mide 198.895 – 202.610  $\mu\text{m}$  de largo. La célula presenta una forma de trompeta cuando está completamente extendido (ya sea en su forma libre nadadora o cuando se pega al sustrato) (Fig. 27A, B y D), mientras que cuando se contrae, adquiere una forma elipsoidal (Fig. 27C); macronúcleo vermiforme que se extiende desde la parte anterior hasta la parte posterior del cuerpo (éste se enrolla varias veces cuando el organismo está contraído) (Fig. 27A, C y D); en el lado izquierdo del embudo oral presenta una vacuola contráctil con un canal colector largo que se extiende hacia la parte posterior de la célula (Fig. 27A y D); los gránulos corticales se distribuyen entre las filas ciliares, son muy densos e incoloros (Fig. 27E); la zona adoral se compone de más de 50 membranelas, mientras que el piso oral se compone de por lo menos 15 cinetias orales (Fig. 27F).

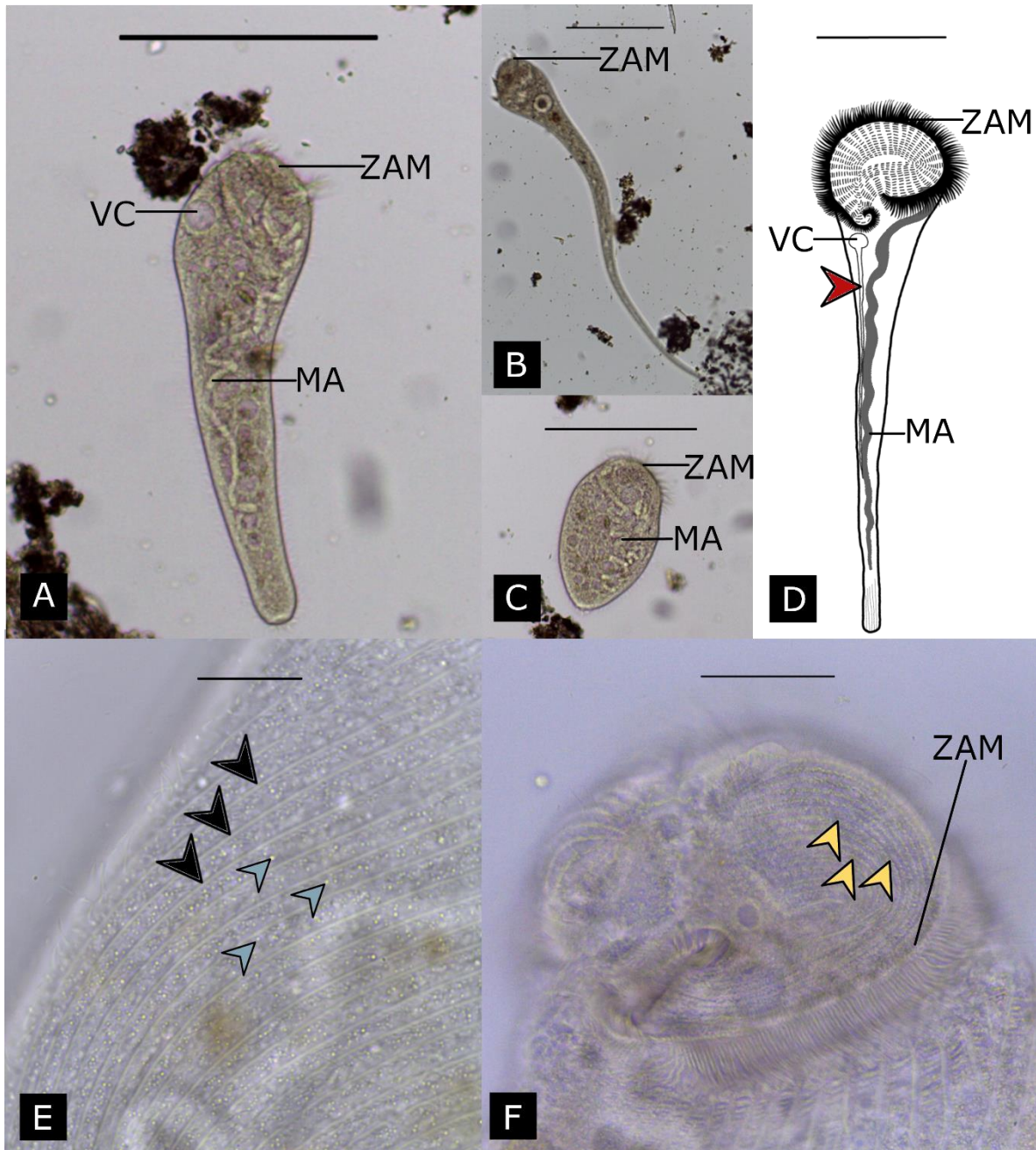
**Comentarios.** Foissner y Wöfl, (1994) sugieren que los caracteres más útiles a la hora de identificar especies del género *Stentor* son: la presencia/ausencia de endosimbiontes, la forma del macronúcleo y el color de los gránulos corticales.

Las características presentes en las poblaciones de la localidad de Piedra Azul son consistentes con las mencionadas por Foissner *et al.* (1992) y por Kim y Jung (2018) para la especie *S. roeselli*. No obstante, no se pudo fijar correctamente a la especie para su impregnación con nitrato de plata y por lo mismo, no fue posible determinar el número exacto de cinetias somáticas.

Esta es una especie cosmopolita que comparte varias características con *S. muelleri* Ehrenberg, 1832 (el tamaño, la forma del cuerpo, el color de los gránulos corticales y el número de cinetias orales y somáticas son prácticamente los mismos), sin embargo, difieren en la forma del macronúcleo (vermiforme en el caso de *S. roeselli* y moniliforme en el caso de *S. muelleri*) (Kim y Jung, 2018).

*Stentor roeselli* estuvo presente en los cuatro muestreos llevados a cabo tanto en la presa como en el Arroyo. Anteriormente Méndez-Sánchez (2017) registró su presencia en la Presa La Azucena y, recientemente, Rivas-Beltrán *et al.*, (2023) la registraron en una granja piscícola de traspatio ubicada en los valles centrales de Oaxaca.





**Figura 27: *Stentor roeselii*.** Especímenes *in vivo* (A-C, E-F). **A.** Célula en su forma libre nadadora; **B.** Célula completamente extendida; **C.** Célula contraída; **D.** Representación esquemática de la morfología general; **E.** Gránulos corticales; **F.** Zona adoral de membranelas y piso oral. Abreviaturas: macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM), flechas azules señalan gránulos corticales, flechas negras señalan cinetias somáticas, flechas amarillas señalan cinetias orales, flecha roja señala canal colector.

Escala: 200  $\mu\text{m}$  (A-D), 20  $\mu\text{m}$  (E), 50  $\mu\text{m}$  (F).

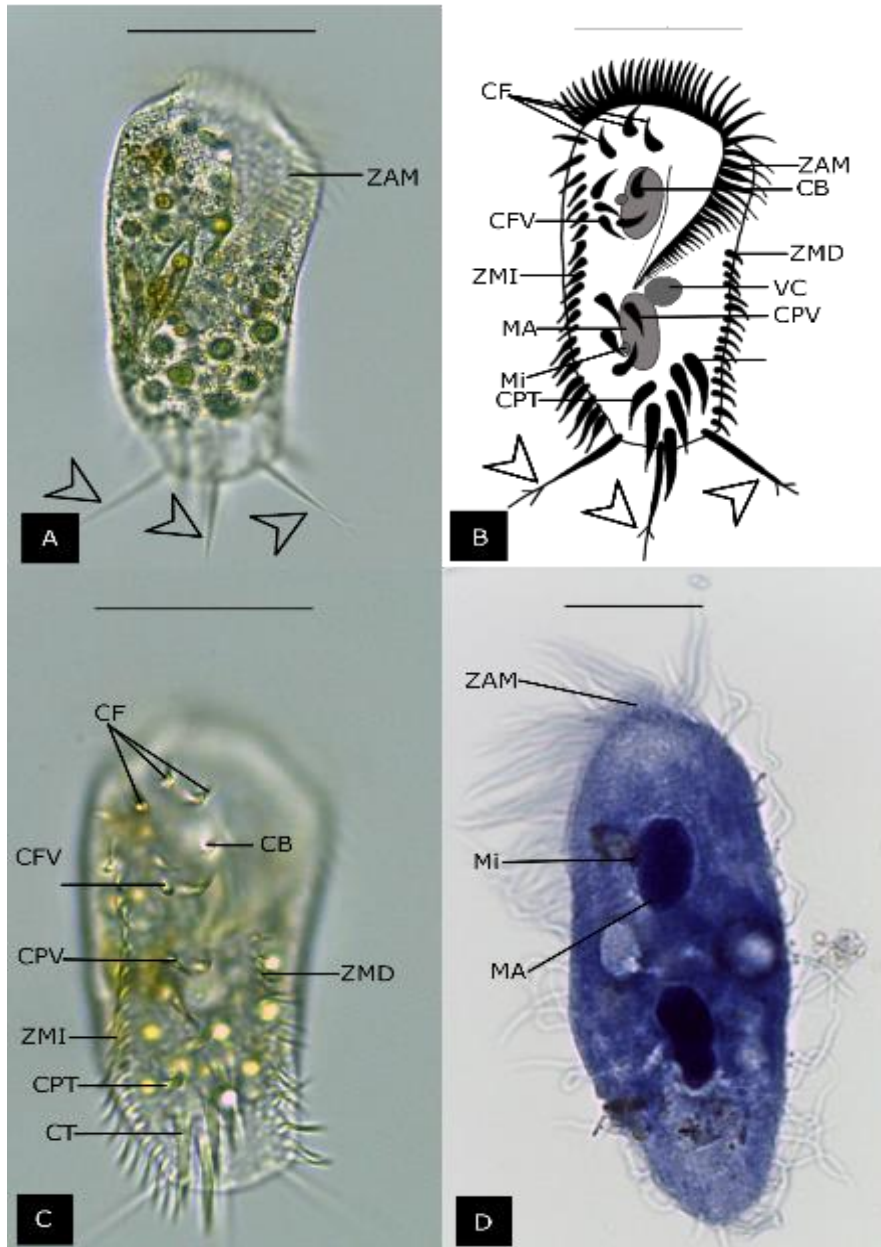
## 25. *Stylonychia mytilus* complejo

**Descripción.** El cuerpo tiene una forma muy característica, ensanchado de la parte anterior y más estrecho en la parte inferior (Fig. 28A-C); el cuerpo es rígido, es decir, no se deforma, y mide 130.160 – 132.54  $\mu\text{m}$  de longitud; el aparato nuclear se ubica longitudinalmente en la parte media del cuerpo y consta de dos nódulos macronucleares (cada uno con un solo micronúcleo esférico) (Fig. 28D); una única vacuola contráctil ubicada en la parte izquierda del cuerpo, muy cercana a la zona adoral de membranelas (Fig. 28A-B); la zona adoral abarca por lo menos el 50% de la longitud total del cuerpo y se compone de por lo menos 60 membranelas (Fig. 28A-B); en la parte ventral del cuerpo se observan 18 cirros: tres cirros frontales, un cirro bucal, cuatro cirros frontoventrales, tres cirros postorales, dos cirros ventrales y cinco cirros transversos separados en dos grupos (Fig. 28C), la zona marginal derecha consta de 23 cirros, mientras que la zona marginal izquierda consta de 16 cirros (Fig. 28C); hay tres cirros caudales bifurcados que sobresalen de la parte inferior del cuerpo, formando un estilete característico (Fig. 28A-B).

**Comentarios.** Las características de los individuos observados en la localidad de Piedra Azul coinciden con las principales características mencionadas por Foissner *et al.* (1991) y Kumar *et al.* (2016) para el complejo de *Stylonychia mytilus*.

El complejo de *S. mytilus* se compone de por lo menos cuatro especies: *S. mytilus* (Müller, 1773) Ehrenberg, 1830, *S. lemnae* Ammermann et Schlegel, 1983, *S. ammermanni* Gupta *et al.*, 2001 y *S. harbinensis* Shi et Ammermann, 2004. Estas especies son difícilmente reconocibles entre sí, aunque usualmente se separa a *S. mytilus* y *S. lemnae* de *S. ammermanni* y *S. harbinensis* por el tamaño de la célula (227  $\mu\text{m}$  y 188  $\mu\text{m}$  vs. 130  $\mu\text{m}$  de longitud respectivamente), sin embargo, este no es un criterio definitivo y no debe ser el único punto para considerar al momento de la identificación, por lo que además se han empleado estudios morfométricos en la posición de los cirros y estudios moleculares (Kumar *et al.*, 2016). Dado que es complicado discriminar entre estas especies sin el uso de técnicas refinadas de impregnación, Foissner *et al.* (1991) sugiere el registro de estos individuos bajo la etiqueta de *Stylonychia mytilus* complejo.

Anteriormente, Rivas-Beltrán *et al.*, (2023) registraron la presencia de *Stylonychia* sp. en los estanques de una granja piscícola de traspatio en los valles centrales de Oaxaca, no obstante, es la primera vez que se registra a *Stylonychia mytilus* complejo en el estado.



**Figura 28: *Stylonychia mytilus* complejo.** Espécimen *in vivo* (A y C), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (D). A. Forma de la célula, vista ventral; B. Representación esquemática de la morfología general; C. Disposición de los cirros ventrales D. Aparato nuclear, vista dorsal.

Abreviaturas: cirro bucal (CB), cirros frontales (CF), cirros frontoventrales (CFV), cirros pretransversos (CPT), cirros postorales ventrales (CPV), cirros transversales (CT), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM), zona marginal derecha (ZMD), zona marginal izquierda (ZMI), flechas señalan estilete. Escala: 50  $\mu\text{m}$  (A-C), 20  $\mu\text{m}$  (D).

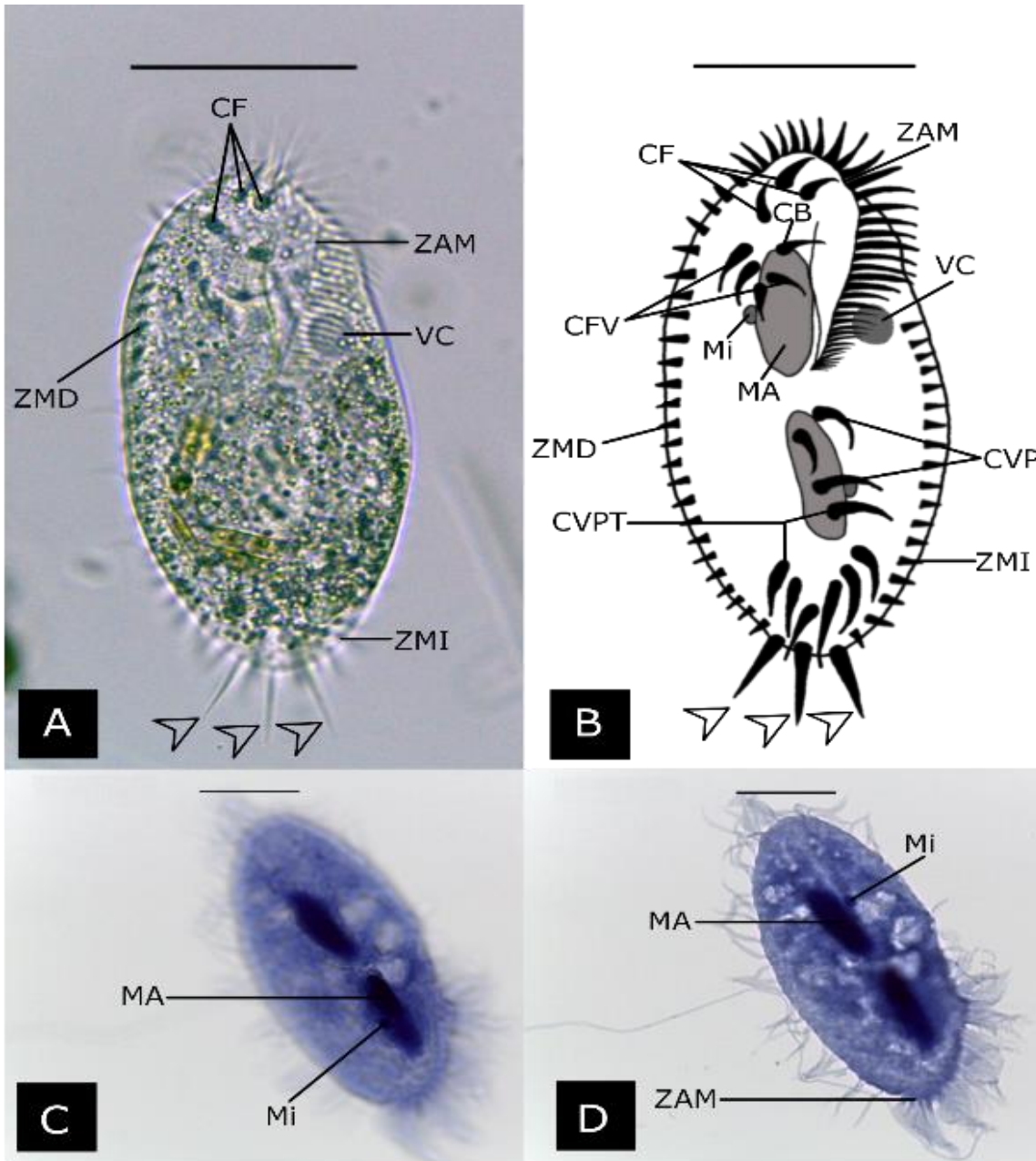
## 26. *Tetmemena pustulata-vorax* complejo

**Descripción.** La célula tiene forma elíptica, con los extremos anterior y posterior redondeados y ligeramente más estrechos que la parte central del cuerpo (Fig. 29A); el cuerpo es rígido, es decir, no se deforma en ningún momento, mide 119.529 – 127.184  $\mu\text{m}$  de largo por 58.528 - 64.252  $\mu\text{m}$  de ancho; el citoplasma es incoloro y, en ocasiones, también se percibe grisáceo con múltiples glóbulos brillantes (Fig. 29A); zona adoral abarca más del 50% de la longitud total del cuerpo y se compone de por lo menos 35 membranelas (Fig. 29A-B); la única vacuola contráctil se ubica muy cercana al borde izquierdo del cuerpo, proximalmente al nivel de la boca (Fig. 29A); en la cara ventral de la célula hay 18 cirros: tres cirros frontales, uno cirro bucal, cuatro cirros frontoventrales, tres cirros postorales ventrales, dos cirros ventrales y cinco cirros transversos (los cirros transversos están arreglados en forma de gancho y forman un solo grupo) (Fig. 29B-C); la zona marginal derecha se compone de 25 cirros, mientras que la zona marginal izquierda se compone de 18 cirros (Fig. 29B-C); el aparato nuclear consta de dos nódulos macronucleares, cada uno acompañado de un micronúcleo esférico mucho más pequeño (Fig. 29C-D).

**Comentarios.** Existen por lo menos tres especies que comparten características con los individuos encontrados en la localidad de Piedra Azul: *Tetmemena pustulata* (Müller, 1786) Eigner, 1999, *T. vorax* (Stokes, 1885) Eigner, 1999 y *T. saprai* Gupta *et al.*, (2020), todas ellas pertenecientes al complejo de especies *Tetmemena pustulata-vorax* (Shao *et al.*, 2013 y Gupta *et al.*, 2020), en donde se agrupan a aquellas especies que morfológicamente son muy parecidas entre sí pero que, aparentemente, son crípticas o pseudocrípticas, es decir, son grupos aislados reproductivamente. Es por lo anterior que la caracterización morfológica de los individuos no es suficiente para una identificación específica, sino que, además, se requiere una evaluación morfométrica y molecular, así como una caracterización de los quistes de reposo (Omar *et al.*, 2023).

Dado que se requieren técnicas de impregnación con nitrato de plata para resaltar la infraciliatura y la disposición de los cirros para un análisis más certero, y a que no se observaron los quistes de reposo, en este caso fue imposible determinar a nivel de especie. Las especies que se mencionan anteriormente son difícilmente distinguibles morfológicamente entre sí porque comparten características como la forma de la célula, las medidas y el hecho de que los cirros transversos están agrupados en un solo grupo (Shao *et al.*, 2013; Gupta *et al.*, 2020).

De acuerdo con los datos recopilados por Aladro-Lubel *et al.* (2006) las especies *T. pustulata* (anteriormente *Stylonychia pustulata*), así como *T. vorax* (*Stylonychia vorax*) habían sido registrados con anterioridad en México.



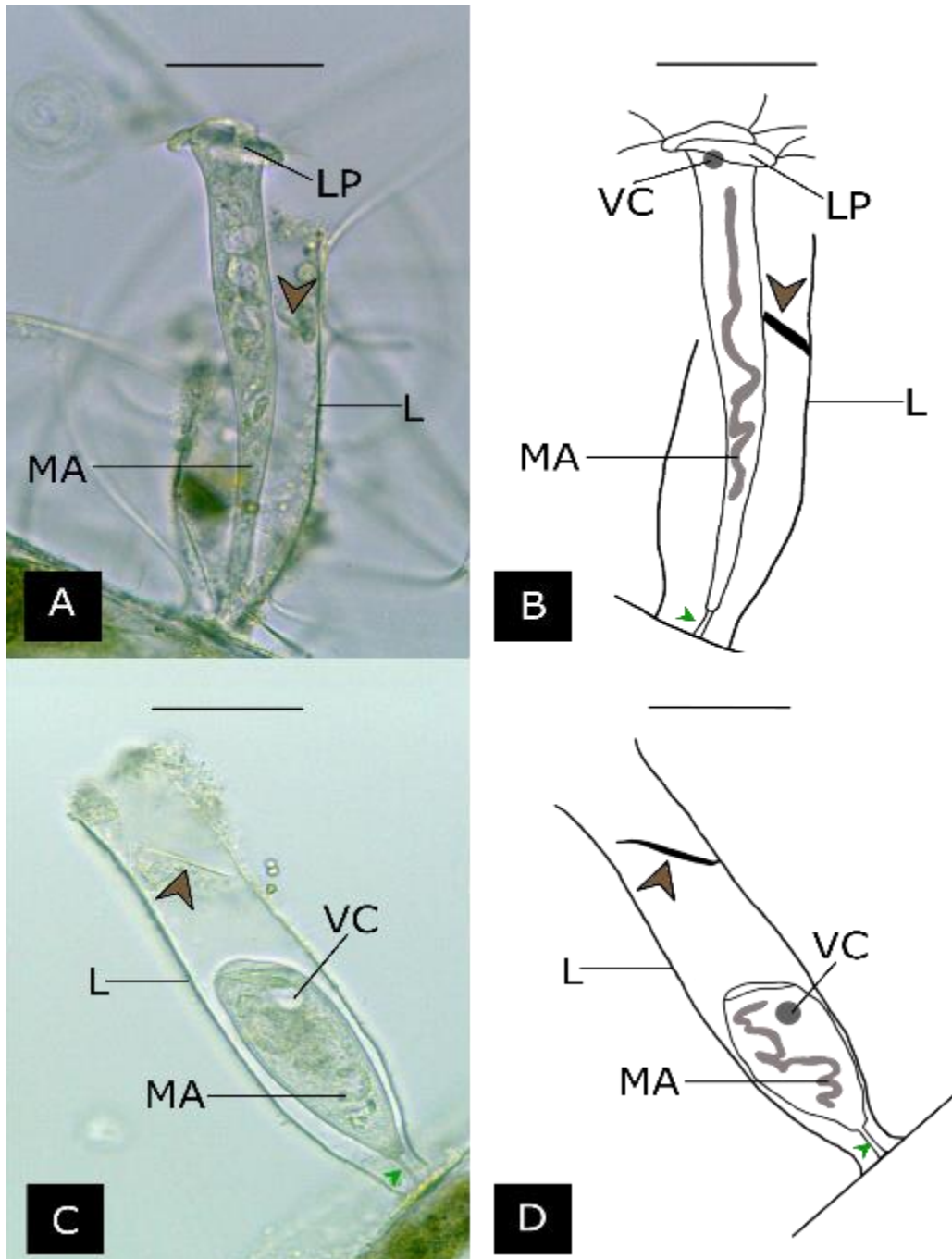
**Figura 29: *Tetmemena pustulata-vorax* complejo.** Espécimen *in vivo* (A), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (C-D). A. Forma de la célula, vista ventral; B. Representación esquemática de la morfología general; C-D. Aparato nuclear. Abreviaturas: cirro bucal (CB), cirros frontales (CF), cirros frontoventrales (CFV), cirros postorales ventrales (CPV), cirros transversales (CT), cirros ventrales pretransversos (CVPT), macronúcleo (MA), micronúcleo (Mi), vacuola contráctil (VC), zona adoral de membranelas (ZAM), zona marginal derecha (ZMD), zona marginal izquierda (ZMI), flechas señalan estilete. Escala: 50  $\mu$ m (A-B), 20  $\mu$ m (C-D).

## 27. *Thuricola* sp.

**Descripción.** Zooide con forma de trompeta cuando se encuentra completamente extendido (Fig. 30A-B); los tamaños son variables: 177.201 – 178.336  $\mu\text{m}$  cuando se encuentra extendido y 77.289 – 82.585  $\mu\text{m}$  cuando está contraído por completo; cuando el organismo se encuentra completamente contraído la célula se deforma y toma la apariencia de gota invertida, con el extremo anterior redondeado y ancho, y el extremo posterior más estrecho. Además, cuando el organismo se contrae, queda completamente protegido por la lórica y ésta nunca se llena por completo, es decir, queda un poco de espacio entre los límites del zooide y la lórica (Fig. 30C-D); en todos los casos sólo se observó a un solo zooide habitando por lórica; el labio peristomal se ubica en la parte anterior del organismo (Fig. 30A) y mide 13.565 – 15.408  $\mu\text{m}$  de diámetro; muy cercana al peristoma se puede encontrar una vacuola contráctil que mide 12.521 – 15.365  $\mu\text{m}$  de diámetro (Fig. 30B-D); el macronúcleo se percibe vermiforme y corre desde la parte anterior hasta la parte posterior del cuerpo, por lo que es muy largo (Fig. 30A-D); se observa además una valva de 42.306 – 44.201  $\mu\text{m}$  de longitud en el extremo anterior de la lórica (Fig. 30A-D); la lórica (lisa y translúcida) se adhiere directamente al sustrato, sin embargo, se observa un pedúnculo interno (Fig. 30C) de 13.943 – 14.485  $\mu\text{m}$  de largo, la lórica mide 162.782 – 167.884  $\mu\text{m}$  de largo y 37.582 – 39.811  $\mu\text{m}$  de ancho.

**Comentarios.** Las características mencionadas previamente coinciden con las características propias del género *Thuricola* presentadas por Lu *et al.* (2019). Todos los miembros pertenecientes al género *Thuricola* tienen una apariencia de trompeta cuando se encuentran completamente extendidos, y dentro de cada lórica pueden habitar uno o dos zooides. Un género con el que se tiende a confundir es *Vaginicola*, pues ambos géneros comparten que la lórica se adhiere directamente al sustrato, no obstante, la diferencia radica en que *Thuricola* posee un tallo interno y una valva membranosa como método de cierre, mientras que *Vaginicola* carece tanto del tallo interno, como de la valva (Trueba, 1980; Lu *et al.*, 2018, 2019).

Trueba (1980) menciona que *Thuricola* raramente se observa en la naturaleza debido a que, tan pronto como encuentran un lugar adecuado, se adhieren y comienzan su metamorfosis. Evitan adherirse a sustratos artificiales o a animales y prefieren adherirse a plantas sumergidas.



**Figura 30: *Thuricola* sp.** Especímenes *in vivo* (A y C). **A.** Forma de la célula completamente extendida; **B.** Representación esquemática de la morfología general de la célula completamente extendida; **C.** Forma de la célula contraída; **D.** Representación esquemática de la morfología general de la célula contraída. Abreviaturas: labio peristomal (**LP**), lórica (**L**), macronúcleo (**MA**), vacuola contráctil (**VC**). Flecha verde señala pedúnculo interno, flecha café señala valva membranosa. Escala: 50  $\mu$ m.

## 28. *Urocentrum turbo*

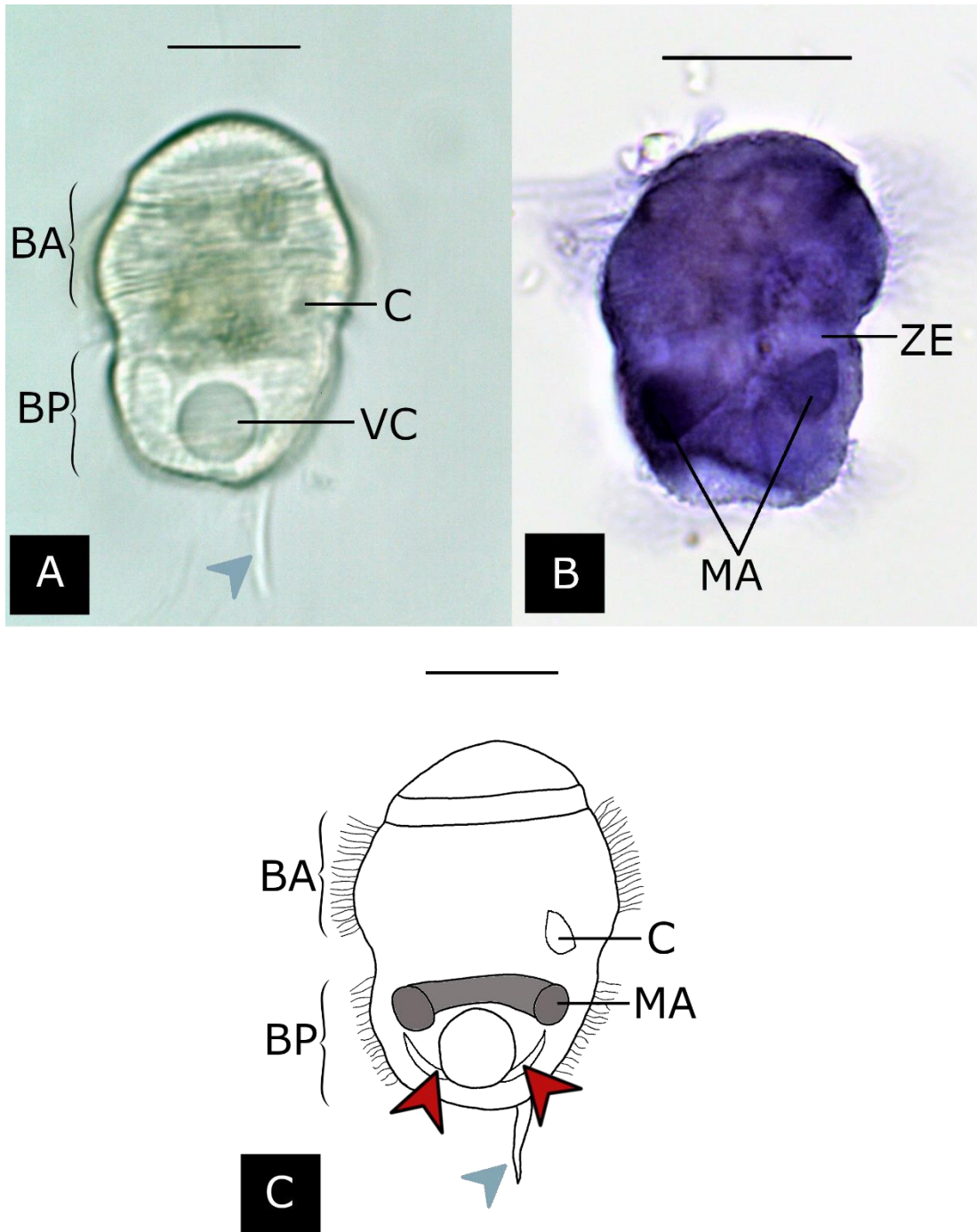
**Descripción.** El tamaño de la célula es de 47.161 – 61.985  $\mu\text{m}$  de largo por 32.658 – 43.327  $\mu\text{m}$  de ancho; cuerpo en forma de corcho, con la parte anterior más ancha que la parte posterior, ligeramente más estrecha en la zona media, los extremos de la célula son redondeados (Fig. 31A y C); posee una vacuola contráctil con canales colectores en el extremo posterior del cuerpo (Fig. 31A y C); las cinetias somáticas tienen un arreglo particular, pues se distribuyen en la parte anterior y posterior del cuerpo, formando dos bandas de cilios: una anterior y una posterior (Fig. 31A y C); entre ambas bandas de cilios se encuentra un surco ecuatorial, en donde se encuentra el aparato oral (Fig. 31A-C); del extremo posterior de la célula se asoma un mechón de cilios (cirro caudal) que permiten que el organismo se adhiera a un sustrato y se balancee hacia delante y hacia atrás en una rotación muy rápida (Fig. 31A y C); el macronúcleo en forma de herradura se ubica en el tercio medio del cuerpo (Fig. 31B), los extremos redondeados y voluminosos del macronúcleo son perceptibles desde la vista frontal del organismo *in vivo* (Fig. 31A).

**Comentarios.** Prácticamente todas las características morfológicas de los individuos encontrados en esta localidad coinciden con las registradas por Martín-González *et al.* (1986) y Foissner *et al.* (1994) para *Urocentrum turbo*, sin embargo, no fue posible determinar el arreglo y número de cinetias, ni tampoco la composición oral. No obstante, Foissner *et al.* (1994) señala que la forma de la célula y el mechón de cilios son características suficientes para determinar a nivel de especie.

Esta especie es fácilmente reconocible incluso sin técnicas de impregnación debido a la forma tan característica de la célula y al movimiento rápido que realiza. *Urozona buetschlii* Schewiakoff, 1889 podría ser confundida con *Urocentrum turbo*, sin embargo, esta especie es más pequeña que *U. turbo* y en lugar de un mechón de cilios, posee un único cilio caudal (Foissner *et al.*, 1994).

Esta especie había sido registrada previamente en el estado de Oaxaca en las localidades “Lago Analco” y “Presas La Azucena” por Méndez-Sánchez (2017).





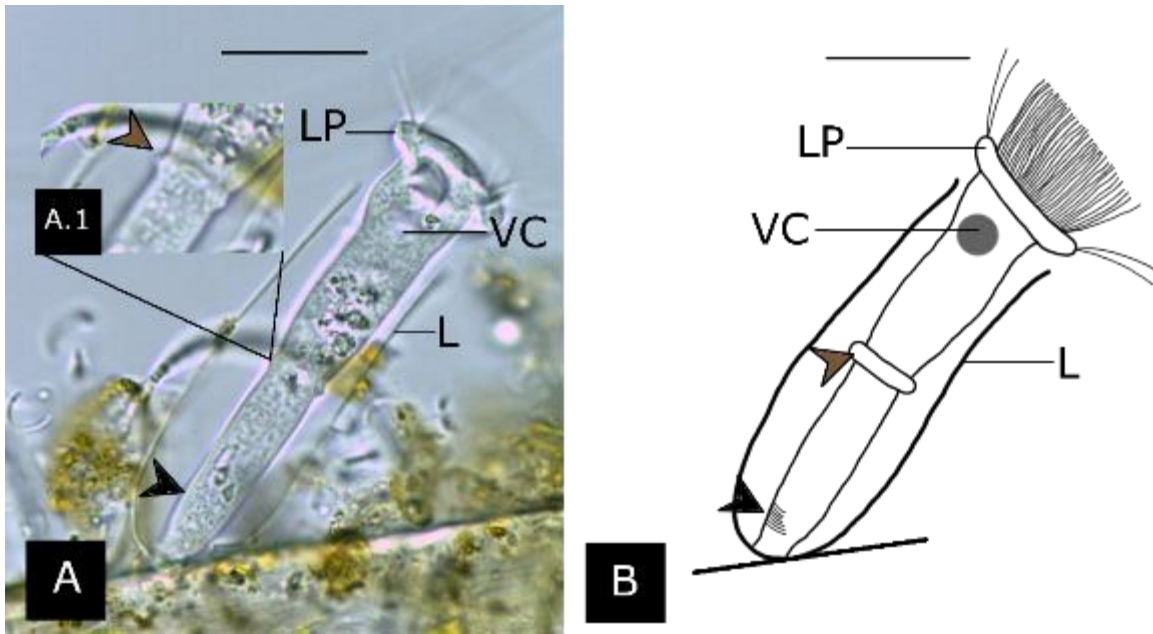
**Figura 31:** *Urocentrum turbo*. Especimen *in vivo* (A), técnica de impregnación con hematoxilina de Harris (B). A. Forma de la célula, vista ventral; B. Aparato nuclear; C. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: banda anterior (BA), banda posterior (BP), citostoma (C), macronúcleo (MA), vacuola contráctil (VC), zona ecuatorial (ZE). Flecha azul señala cirro cauda, flechas rojas señalan canales colectores. Escala: 20  $\mu\text{m}$ .

## 29. *Vaginicola* sp.

**Descripción.** La célula tiene forma de trompeta cuando está completamente extendida (Fig. 32A-B), el tamaño de la célula es de 68.890  $\mu\text{m}$  de largo por 10.536  $\mu\text{m}$  de ancho en la parte central; el labio peristomal mide 19.619  $\mu\text{m}$  de diámetro y se ubica en la parte anterior de la célula (Fig. 32A); la lórica mide 56.772  $\mu\text{m}$  de largo por 16.4  $\mu\text{m}$  de ancho; célula muy estriada transversalmente (Fig. 32A-B); vacuola contráctil se observa por debajo del labio peristomal (Fig. 32A-B); muy por debajo de la parte ecuatorial de la célula se percibe una banda troncal (Fig. 32A.1); la lórica es translúcida y lisa (Fig. 32A) y no se percibe significativamente más ancha en ninguna zona, además, esta se adhiere al sustrato directamente; no se observa la presencia de pedúnculos internos o externos, así como tampoco se perciben valvas u opérculos que sellen la lórica.

**Comentarios.** Las características observables en este individuo coinciden con aquellas registradas por Lu *et al.* (2019), quien remarca que las especies de este género usualmente se encuentran en una lórica, ya sea solitarios o en pares, la lórica se adhiere al sustrato directamente sin la presencia de algún pedúnculo interno o externo, los zooides contienen estriaciones transversales en la película, la lórica carece de valvas y no hay presencia de un opérculo por debajo del labio peristomal.

El género *Vaginicola* es un género en el que se han descrito por lo menos 50 especies. En comparación con otros géneros dentro de la familia Vaginicolidae, la estructura de los miembros de *Vaginicola* es relativamente simple, lo que dificulta su identificación a nivel de especie, por ello, lo ideal es contar con datos de la ciliatura para poder llegar hasta ese nivel taxonómico (Lu *et al.*, 2019). En esta ocasión, el único individuo que se encontró en el arroyo sólo pudo ser observado *in vivo*, y no fue posible su fijación para una preparación permanente que proporcionara más información taxonómica.



**Figura 32:** *Vaginicola* sp. Espécimen *in vivo* (A-A.1). **A.** Forma de la célula completamente extendida; **A.1.** Banda troncal, zona posterior de la célula; **B.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaciones: labio peristomal (**LP**), lorica (**L**), vacuola contráctil (**VC**).

Flechas negras señalan ciliatura, flecha café señala banda troncal. Escala: 20  $\mu\text{m}$ .

### 30. *Vorticella campanula*

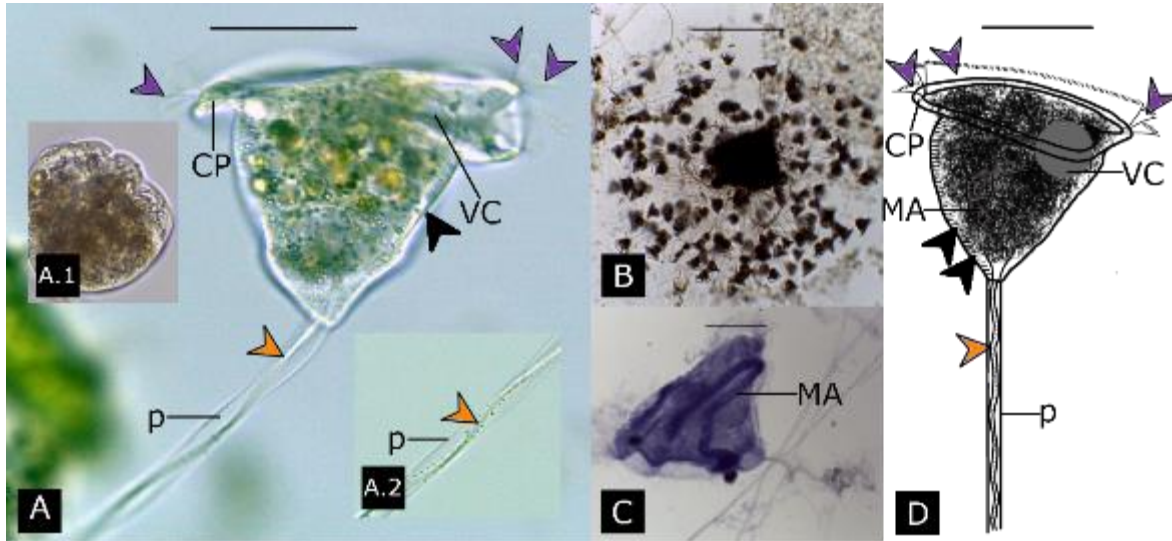
**Descripción.** Las células extendidas tienen forma de campana invertida (Fig. 33A), con un tamaño aproximado de 69.810 – 87.049  $\mu\text{m}$  de longitud, siempre contiene muchos gránulos en el citoplasma, con lo que la célula se percibe muy oscura a bajos objetivos (4x) (Fig. 33B); cuando los especímenes se contraen adquieren una forma casi esférica, con unas pequeñas protuberancias en la parte anterior (Fig. 33A.1); macronúcleo en forma de “J” o “S” (Fig. 33C); vacuola contráctil está posicionada al nivel del labio peristomal (Fig. 33A y D); el labio peristomal mide 92.090 – 11.678  $\mu\text{m}$  de diámetro, y este siempre sobresale claramente sobre el borde del cuerpo (Fig. 33A); la película está finamente estriada transversalmente (Fig. 33A y D); el pedúnculo mide 5.833 – 8.869  $\mu\text{m}$  de ancho, y posee un espasmonema de 2.003 – 4.168  $\mu\text{m}$  de ancho que le permite a la célula contraerse en hélices apretadas. En ocasiones se le observaron gránulos oscuros en el espasmonema (Fig. 33A.2); usualmente se encontraron formando pseudocolonias muy densas (Fig. 33B).

**Comentarios.** Las características de los individuos que se encontraron en la localidad de Piedra Azul coinciden con las registradas por Warren (1986), Foissner *et al.* (1992) y Kim y Shin (2016) para la especie *Vorticella campanula*.

Foissner *et al.* (1992) señala que hay tres especies con las que se podría confundir a esta especie: *V. picta* Ehrenberg, 1831, *V. convallaria* Linnaeus, 1758 y *V. marginata* Stiller, 1931. *Vorticella campanula* puede ser separada de *V. convallaria* fácilmente porque esta última carece de los densos gránulos oscuros presentes en el citoplasma de *V. campanula*; *V. marginata*, aunque es muy parecida a *V. campanula* se diferencia por la forma del macronúcleo (macronúcleo en forma de herradura vs. macronúcleo en forma de “J”); por último, *V. picta*, a diferencia de *V. campanula*, tiene dos vacuolas contráctiles fácilmente distinguibles y su pedúnculo es muy particular al estar densamente lleno de gránulos (no sólo están presentes en el espasmonema).

A pesar de que las características observadas en los individuos de la localidad de Piedra Azul coinciden con lo registrado en literatura, fue imposible determinar el sistema de líneas de plata característicos de la especie, esto debido a que resultó muy complicado llevar a cabo la impregnación con nitrato de plata. Sin embargo, Foissner *et al.* (1992) señala que para identificar a esta especie es particularmente importante la presencia de numerosos glóbulos oscuros en el citoplasma, la forma de la célula en estado estirado y contraído y la forma de “J” del macronúcleo, aunque Kim y Shin (2016) también mencionan que el macronúcleo puede tener forma de “S”.

Anteriormente se había registrado a esta especie en el estado de Oaxaca, pues Aristeo-Hernández (2017) la registró asociada a bivalvos del Lago Analco. Recientemente Rivas-Beltrán *et al.*, (2023) también registraron su presencia en una granja piscícola de traspatio en los valles centrales de Oaxaca.



**Figura 33: *Vorticella campanula*.** Especímenes *in vivo* (A-B), técnica de tinción con hematoxilina de Harris (C). **A.** Forma de la célula; **A.1.** Forma de la célula contraída; **A.2.** Pedúnculo; **B.** Colonia; **C.** Aparato nuclear; **D.** Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: collar peristomal (CP), macronúcleo (MA), pedúnculo (p), vacuola contráctil (VC), flechas naranjas señalan espasmonema, flechas moradas señalan membranelas. Escala: 50  $\mu\text{m}$  (A y D), 200  $\mu\text{m}$  (B), 20  $\mu\text{m}$  (C).

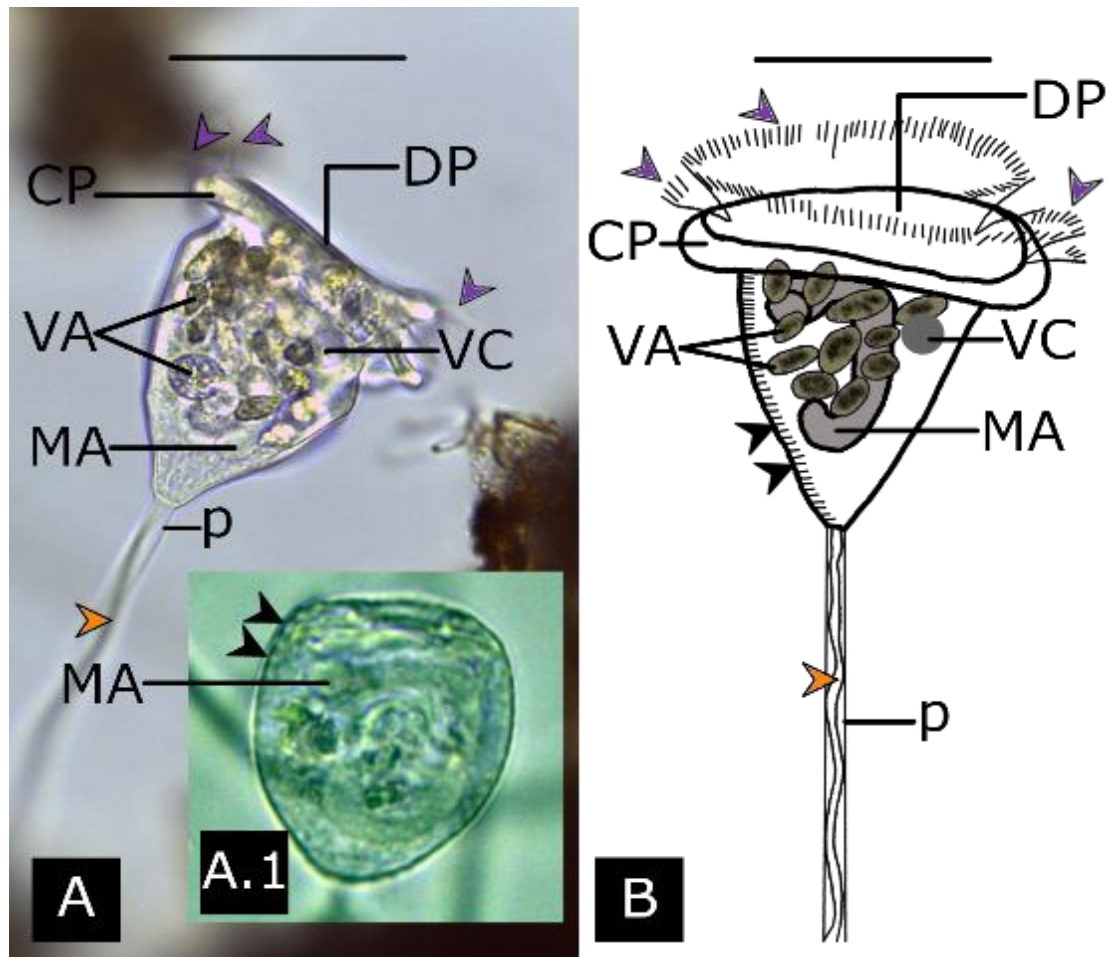
### 31. *Vorticella convallaria* complejo

**Descripción.** Tamaño de la célula en estado estirado 58.077 – 65.951  $\mu\text{m}$  de largo; las células estiradas tienen una forma de campana invertida, ligeramente constreñida debajo del labio peristomal (Fig. 34A-B); cuando la célula se encuentra contraída adquiere una forma casi esférica (Fig. 34A.1); el labio peristomal mide 39.489 – 54.951  $\mu\text{m}$  de diámetro y sobresale ligeramente del contorno de la célula (Fig. 34A-B); el disco peristomal está aplanado o ligeramente elevado (Fig. 34A-B); el citoplasma es incoloro y casi siempre está llena de vacuolas alimenticias (Fig. 33A); la vacuola contráctil se encuentra por debajo del labio peristomal (Fig. 34A-B); macronúcleo en forma de “J” ubicado en el eje longitudinal de la célula (Fig. 34A.1); el pedúnculo mide 3.949 – 6.904  $\mu\text{m}$  de ancho, y posee un espasmonema de 1.201 – 3.367  $\mu\text{m}$  de ancho (Fig. 34A-B) que le permite a la célula contraerse en hélices apretadas. Se encontró de forma solitaria, pero también formando pseudocolonias muy pequeñas.

**Comentarios.** Las características registradas en los individuos de la localidad Piedra Azul son consistentes con las registradas por Warren (1986), Foissner *et al.* (1992) y Chithra y Kumar (2019) para el complejo *Vorticella convallaria*.

De acuerdo con Foissner *et al.* (1992) *V. convallaria* es parte de un complejo de especies junto con *V. similis* Stokes, 1887, *V. nebulifera* Müller, 1773 y *V. gracilis* Dujardin, 1841. Estos taxones son tan similares que una identificación puramente morfológica no es suficiente para discriminar entre especies.

Esta sería la primera vez que se registra a este complejo en el estado de Oaxaca, sin embargo, no es la primera vez que se registra en México. Anteriormente se registró, por lo menos, en la Cantera Oriente de la Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 2009) y en el Estado de Chiapas (Aristeo-Hernández, 2017).



**Figura 34: *Vorticella convallaria* complejo.** Espécimen *in vivo* (A), técnica de tinción con colorante azul de metileno (A.1). A. Forma de la célula; A.1. Aparato nuclear; B. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: collar peristomal (CP), disco peristomal (DP), macronúcleo (MA), pedúnculo (p), vacuola alimenticia (VA), vacuola contráctil (VC), flechas naranjas señalan espasmonema, flechas moradas señalan membranelas, flechas negras señalan cinetias somáticas. Escala: 50  $\mu$ m.

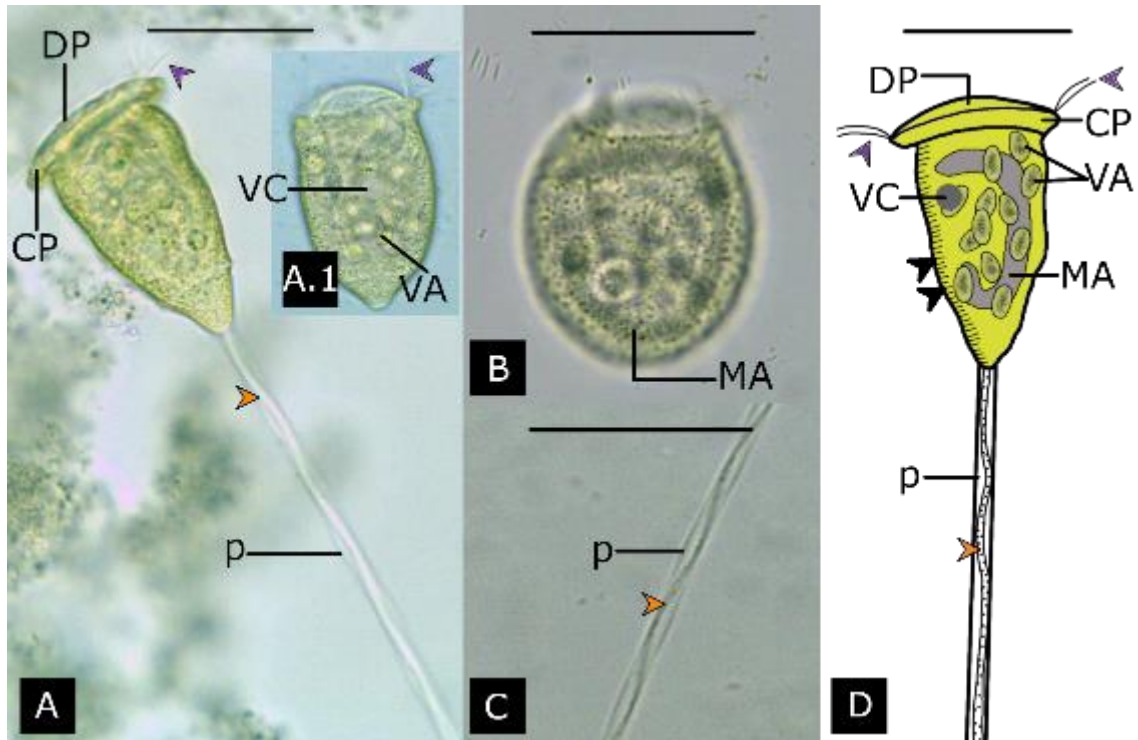
### 32. *Vorticella convallaria* var. *citrina*

**Descripción.** Tamaño de la célula en estado estirado 50.813 – 70.0182  $\mu\text{m}$  de largo; las células estiradas tienen una forma de campana invertida, ligeramente constreñida debajo del labio peristomal (Fig. 35A y D); el labio peristomal mide 35.669 – 38.725  $\mu\text{m}$  de diámetro y sobresale ligeramente del contorno de la célula (Fig. 35A y D); el disco peristomal está aplanado o ligeramente elevado (Fig. 35A y D); el citoplasma es visiblemente amarillo (Fig. 35A, A.1, B y D); la vacuola contráctil se encuentra por debajo del labio peristomal (Fig. 35A.1); macronúcleo en forma de “J” (Fig. 35B); el pedúnculo mide 3.503 – 5.741  $\mu\text{m}$  de ancho, y posee un espasmonema de 1.313 – 1.684  $\mu\text{m}$  de ancho que le permite a la célula contraerse en hélices apretada, en ocasiones se observaron algunos gránulos oscuros en el espasmonema (Fig. 35C).

**Comentarios.** El color tan característico de esta *Vorticella* coincide con lo registrado por Foissner *et al.* (1992) y con Foissner *et al.* (2010) para la especie *V. citrina*. Estos autores mencionan que *V. citrina* debe ser registrada como un sinónimo de *V. convallaria*, pues, aparentemente, la coloración amarilla del citoplasma se debe a la alimentación, es decir, representa un ecotipo. Esta variedad de *Vorticella* fue encontrada únicamente en una muestra cultivo realizada a partir de granos de trigo y no volvió a estar presente en ningún otro muestreo.

Esta es la primera vez que se registrada esta variedad en México y en el continente americano.





**Figura 35: *Vorticella convallaria* var. *citrina*.** Espécimen *in vivo* (A-D). A. Forma de la célula; A.1. Vacuolas; B. Aparato nuclear; C. Pedúnculo, D. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: collar peristomal (CP), disco peristomal (DP), macronúcleo (MA), pedúnculo (p), vacuola alimenticia (VA), vacuola contráctil (VC), flechas naranjas señalan espasmonema, flechas moradas señalan membranelas, flechas negras señalan cinetias somáticas.

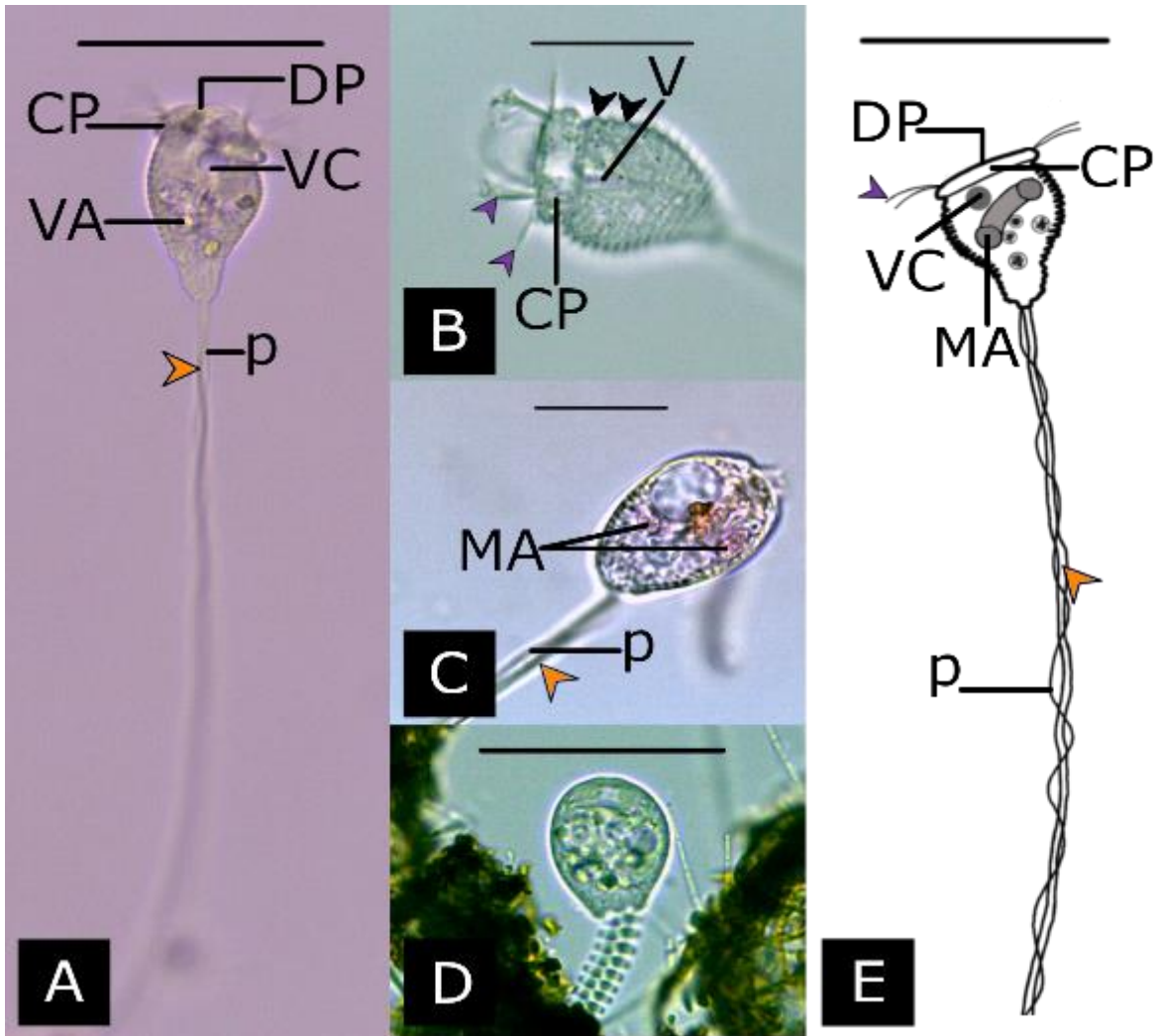
Escala: 50  $\mu$ m.

### 33. *Vorticella* sp.

**Descripción.** Tamaño de la célula en estado estirado 21.354 – 39.801  $\mu\text{m}$ ; el labio peristomal es más estrecho en relación con la parte más ancha del cuerpo (Fig. 36A, B y E); labio peristomal mide 12.354 – 20.956  $\mu\text{m}$  de diámetro; el disco peristomal está ligeramente elevado (Fig. 36A); el citoplasma es traslucido (Fig. 36A-D); película finamente estriada transversalmente, la nervadura entre estrías de tipo cóncava (Fig. 36B); cuando se contrae, el zooide adquiere una forma ovalada (Fig. 36D); la vacuola contráctil se encuentra por debajo del labio peristomal (Fig. 36A y E); macronúcleo en forma de “C” ubicado en la parte anterior del cuerpo, posicionado horizontal y ligeramente inclinado (Fig. 36C); el pedúnculo mide 2.310 – 4.507  $\mu\text{m}$  de ancho, y posee un espasmonema de 1.003 – 1.995  $\mu\text{m}$  de ancho que le permite a la célula contraerse en hélices apretadas (Fig. 36D).

**Comentarios.** Las características anteriores sugieren que los individuos encontrados en la localidad de Piedra Azul podrían pertenecer al complejo *Vorticella aquadulcis* o bien, al complejo *Vorticella octava*. Ambos complejos comparten varias similitudes, en particular los intervalos de tamaño, la forma del micronúcleo y su posición, la nervadura cóncava entre estrías transversales y que el labio peristomal es más estrecho que la parte más ancha del cuerpo. No obstante, para que la identificación sea más precisa se requiere de técnicas de impregnación con plata, métodos que no se pudieron llevar a cabo con esta especie debido a que resultó complicada su fijación.

Con base en las características presentadas por Foissner *et al.* (1992), las características del complejo *V. aquadulcis* encajan mejor con los individuos de Piedra Azul. De acuerdo con estos autores, el complejo *V. aquadulcis* se compone de individuos cuyas estrías son bastante visibles (incluso a bajos objetivos), además, poseen una forma de pera cuando están estirados por completo (a diferencia del complejo *V. octava* que tiene una forma acampanada). De acuerdo con lo registrado por Aladro-Lubel *et al.* (2006) en su listado taxonómico de ciliados en México, ambos complejos han sido registrados en México con anterioridad.



**Figura 36: *Vorticella* sp.** Espécimen *in vivo* (A, B, D), técnica de tinción con colorante safranina (C). A. Forma de la célula; B. Zooide con nervaduras tipo cóncavas; C. Aparato nuclear; D. Célula contraída; E. Representación esquemática de la morfología general. Abreviaturas: collar peristomal (CP), disco peristomal (DP), macronúcleo (MA), pedúnculo (p), vacuola alimenticia (VA), vacuola contráctil (VC), flechas naranjas señalan espasmonema, flechas moradas señalan membranelas, flechas negras señalan cinetias somáticas. Escala: 50  $\mu$ m (A, D y E), 20  $\mu$ m (Fig. B y C).

## Discusión:

De los cuatro muestreos realizados en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, se determinaron once especies de ciliados de vida libre. Adicionalmente se obtuvieron quince registros a nivel de género, tres a nivel de familia y cuatro complejos de especies (véase Tabla 2).

Estos son los primeros registros de ciliados para la localidad de Piedra Azul. Sin embargo, las especies *Coleps hirtus*, *Loxodes striatus*, *Paramecium caudatum*, *Paramecium bursaria* complejo, *Spirostomum teres*, *Stentor roeselii*, *Vorticella campanula* y *Urocentrum turbo*, así como los géneros *Aspidisca*, *Brachonella*, *Cinetochilum*, *Cyclidium*, *Dexiotricha*, *Euplotes*, *Halteria*, *Lacrymaria*, *Lembadion*, *Metopus*, *Stylonychia*, y algunos miembros de la familia Chilodonellidae han sido registrados con anterioridad en el estado de Oaxaca (Cruz-Jiménez, 2017; Méndez-Sánchez, 2017; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023).

*Coleps elongatus*, *Euplotes woodruffi*, *Spirostomum subtilis* y *Vorticella convallaria* var. *citrina*, así como *Tetememena pustulata-vorax* complejo, *Vorticella convallaria* complejo y las morfoespecies de los géneros *Frontonia*, *Pyxicola*, *Thuricola*, *Vaginicola* y las de la familia Epistylididae, representan nuevos registros para el estado de Oaxaca.

Todos los géneros, así como las familias Chilodonellidae y Epistylididae registrados en este trabajo, han sido registrados en México con anterioridad (Aladro-Lubel *et al.*, 2006; Mayén-Estrada *et al.*, 2020), a excepción de las especies *Spirostomum subtilis* y *Vorticella convallaria* var. *citrina* que son nuevos registros para el país y el continente americano.

### **Factores bióticos, abióticos y su relación con la diversidad y abundancia de ciliados.**

De acuerdo con Luna-Pabello (2006), los protozoos -entre ellos los ciliados- tienen comunidades estructuralmente muy dinámicas, con lo que sus abundancias cambian rápidamente debido a su reproducción, enquistamiento o exquistamiento. Además, la diversidad de estos microorganismos se relaciona estrechamente con la calidad del agua en la que se encuentran y responden rápidamente a los cambios físicos y químicos característicos del ambiente. Tanto los factores bióticos como abióticos influyen en la aparición y distribución de estos microorganismos; las reservas alimentarias, la competencia, la temperatura, la concentración de pH y CO<sub>2</sub>, la luz y el oxígeno disuelto son componentes que pueden influir en la presencia o ausencia de algunas especies.

De acuerdo con la clasificación presentada por Pratt y Cairns (1985), los ciliados registrados en este trabajo se pueden clasificar en cinco grupos con base en su alimentación:

1. **Grupo A:** formas holozoicas que se alimentan de algas, principalmente diatomeas y filamentos pequeños (*Euplotes woodruffi*, *Frontonia* sp. 1, *Lembadion* sp., *Loxodes striatus*, *Stylonychia mytilus* y *Tetmemena pustulata*).
2. **Grupo B:** bacterívoros detritívoros, formas holozoicas que se alimentan de bacterias y de partículas detriticas con bacterias adheridas (*Aspidisca* sp., *Brachonella* sp., Chilodonellidae gen. sp. 1, *Cinetochilum* sp., *Coleps elongatus*, *C. hirtus*, *Cyclidium* sp., *Dexiotricha* sp., Epistylididae gen. sp. 1, Epistylididae gen. sp. 2, *Euplotes woodruffi*, *Frontonia* sp. 1, *Frontonia* sp. 2, *Halteria* sp., *Loxodes striatus*, *Metopus* sp., *Paramecium caudatum*, *Pyxicola* sp., *Spirostomum subtilis*, *S. teres*, *Thuricola* sp., *Urocentrum turbo*, *Vaginicola* sp., *Vorticella campanulla*, *V. convallaria complejo*, *V. convallaria* var. *citrina* y *Vorticella* sp.).
3. **Grupo N:** Omnívoros no selectivos. Formas holozoicas que se alimentan de una gran variedad de materia, sin preferencias aparentes. La mayoría de estos organismos son formas grandes (*Lacrymaria* sp. y *Stentor roeselii*).
4. **Grupo P:** Autótrofos fotosintéticos. En este grupo se incluyen a los productores primarios y a aquellos individuos que presentan simbiosis con algas (*Paramecium bursaria* complejo).
5. **Grupo R:** Especies como *Lacrymaria* sp., *Coleps elongatus* y *C. hirtus* también pueden considerarse como depredadores, formas holozoicas que se pueden alimentar de otros protozoos.

Es necesario aclarar que algunas de estas morfoespecies pueden entrar dentro de más de un grupo.

El grupo B fue el más representativo durante los cuatro muestreos y agrupa algunas de las especies más frecuentes y abundantes del estudio (*Coleps elongatus*, *C. hirtus*, *Cyclidium* sp., *Paramecium caudatum*, *Spirostomum teres* y *V. convallaria* complejo). Lo anterior nos indica que la mayoría de las especies encontradas en Piedra Azul se alimentan de bacterias, con lo que es muy probable que este grupo de procariotas sean un componente muy importante en la zona.

### **Diversidad de Ciliophora por sitio muestreado.**

En general, no se observó una diferencia significativa entre el número de morfoespecies que se distribuyen en el arroyo y la presa. Ambos sitios muestreados son muy parecidos en composición de morfoespecies, pues por lo menos veintidós de ellas se registraron tanto en la presa como en el arroyo, mientras que las once restantes se registraron de manera exclusiva en el arroyo o en la presa (véase Tabla 3). El que la mayoría de las especies se haya compartido entre ambos sitios muestreados nos indica que las condiciones ambientales entre el arroyo y la presa pueden llegar a ser bastante

homogéneas -para los ciliados-, lo que permite el establecimiento de nichos idénticos en ambos sitios que facilitan el asentamiento y proliferación de individuos de la misma especie y que los recursos sean suficientes, evitando así una competencia muy severa (Weisse, 2017). No obstante, la homogeneidad de los sitios pudo variar a lo largo del año y por ello en ciertas estaciones se pudieron observar especies raras o poco frecuentes en un sólo sitio, o bien, una especie pudo ser frecuente en una estación del año y en otra no. Para confirmar lo anterior es necesario llevar a cabo nuevos estudios de las zonas muestreadas, tomando en cuenta condiciones fisicoquímicas y ambientales.

En el arroyo se registraron 28 morfoespecies en total (véase Tabla 3). *Dexiotricha* sp., Epistylididae gen. sp. 1, Epistylididae gen. sp. 2, *Pyxicola* sp., *Thuricola* sp. y *Vaginicola* sp., fueron exclusivas de este sitio. En estos casos, todos los individuos exclusivos -a excepción de *Dexiotricha* sp.- son organismos pertenecientes al orden Sessilida y comparten la característica de poseer o formar estructuras que les permiten fijarse a un sustrato. Probablemente lo anterior se deba a la condición lótica del arroyo, pues de acuerdo con Sartini *et al.* (2018), es común que se encuentren peritricos cubriendo las superficies de sustratos inertes y vivos en ambientes con dicha característica. En general, en las muestras tomadas del arroyo siempre hubo gran abundancia y diversidad de especies, particularmente en aquellas que se tomaron a partir de la materia orgánica, en donde los organismos sésiles encontraron un sustrato para adherirse. Si bien las muestras se tomaron de sitios con poco flujo, se sigue considerando un ambiente con corriente.

En total, en la presa se registraron 27 morfoespecies (véase Tabla 2). *Brachonella* sp., *Frontonia* sp. 2, *Lacrymaria* sp., *Paramecium bursaria* complejo y *Vorticella convallaria* var. *citrina* fueron exclusivas de este sitio de muestreo. Dichas morfoespecies -a excepción de *Brachonella* sp.- comparten la característica de haber sido encontradas en un solo muestreo, es decir, fueron especies raras. La presa, por su propiedad de secarse por completo -como se documentó en la temporada de verano (junio de 2022)- y volverse a llenar durante el año, representa un ambiente temporal (Küppers *et al.*, 2009). Williams (1987) menciona que, en ambientes dinámicos como los estanques temporales, el lecho se convierte en un ambiente terrestre durante los periodos de sequía, por lo que las especies adaptadas a condiciones estresantes se ven obligadas a migrar a otros cuerpos de agua, o bien, a producir estructuras inactivas. Muchos ciliados tienen la capacidad de formar quistes de reposo (Foissner, 1987), con lo que pueden persistir en los sedimentos de los hábitats transitorios y luego colonizar nuevamente el agua durante la fase de llenado luego del desenquistamiento.

Tanto en la presa Piedra Azul como el arroyo que la abastece, se registraron algunas morfoespecies que tienen la capacidad de producir quistes de reposo en condiciones desfavorables: *Stentor roeselii*,

*Stylonychia mytilus* complejo y *Tetmemena pustulata-vorax* complejo (Foissner *et al.*, 1991, 1992). Otros grupos que podrían producir quistes -pero no se tiene registro de ello aún- son los miembros de la clase Heterotrichea -como *Spirostomum teres* y *S. subtilis*-; miembros de la familia Metopidae -como *Brachonella* y *Metopus*-; miembros de la subclase Haptoria -como *Lacrymaria*; miembros de la subclase Cyrtophoria -como la familia Chilodonellidae-; especies del género *Frontonia* y especies del género *Cinetochilum* (Foissner *et al.* 1991, 1992, 1994, 1995; Lynn, 2008). El único género que no forma quistes de reposo es *Paramecium* (Foissner *et al.*, 1994). Para las especies *Coleps hirtus*, *C. elongatus*, *Euplotes woodruffi*, *Loxodes striatus*, *Urocentrum turbo*, así como para los miembros de los géneros *Aspidisca*, *Cyclidium*, *Dexiotricha*, *Halteria*, *Lembadion*, *Pyxicola*, *Thuricola*, *Vaginicola*, *Vorticella*, y los miembros de la familia Epistylididae no existen registros o indicios de enquistamiento, por lo que su posible ausencia en alguno de los sitios de muestreo en estas localidades debe atribuir a otros factores que no incluyan necesariamente la formación de estructuras de reposo.

### **Estacionalidad.**

El otoño (octubre 2022) fue la época del año en que se registró una mayor cantidad de morfoespecies (véase Tabla 4). En esta temporada tanto la presa como el arroyo se encontraban llenos debido a que coincide con la temporada de lluvias de la zona; en los muestreos de primavera (marzo 2023), verano (junio 2022) e invierno (diciembre 2021) se registró un número muy similar de especies (véase Tabla 4). Si bien primavera e invierno son los meses en que hay menos precipitación en la localidad y coinciden con la temporada de secas, junio – al igual que octubre – se considera una temporada de lluvias, no obstante, es el mes en el que comienzan las lluvias y, para cuando se llevó a cabo el muestreo la zona estaba seca, por lo que los resultados tienen sentido si se considera a junio como una temporada de transición entre la temporada de lluvias y la temporada de secas.

### **Especies frecuentes:**

Las especies *Aspidisca* sp., Chilodonellidae gen. sp, *Coleps elongatus*, *C. hirtus*, *Cyclidium* sp., *Euplotes woodruffi*, *Paramecium caudatum*, *Spirostomum teres*, *Stentor roeselii* y *Vorticella convallaria* complejo, fueron especies comunes en Piedra Azul, pues se registraron en por lo menos tres de los cuatro muestreos. La ocurrencia de dichos microorganismos en distintas estaciones del año podría deberse a su gran tolerancia a amplios intervalos de condiciones ambientales (Luna-Pabello, 2006). De acuerdo con lo registrado por Foissner *et al.* (1992, 1994), las especies *P. caudatum*, *Spirostomum teres*, *Stentor roeselii* y *V. convallaria* complejo se encuentran durante todo el año tanto en ambientes de aguas estancadas o con poco movimiento, así como en aguas con corriente.

Para la especie *Stentor roeselii* se ha determinado que el pico máximo de abundancia se da entre las estaciones de verano y otoño (Foissner *et al.* 1992). En Piedra azul, el mayor pico de abundancia se dio precisamente en esas estaciones, aunque fue particularmente frecuente en la estación de otoño - época de lluvias-, cuando se encontró tanto en la presa como en el arroyo; en verano, por otro lado, fue frecuente sólo en el arroyo, pues la presa en ese momento se encontraba seca y es probable que la especie estuviera en su estado de quiste.

Chilodonellidae gen. sp, fue especialmente abundante en el arroyo, en donde alcanzó su máxima abundancia en la temporada de transición. A su vez, en la presa sólo se registró ocasionalmente en las temporadas de otoño y primavera. No se descarta la posibilidad de que Chilodonellidae gen. sp. se encontrara en un estado de enquistamiento en la presa durante la temporada de verano, y que, en el resto de los muestreos a esta zona, la especie fuera menos frecuente debido a condiciones ambientales o ecológicas poco favorables. Foissner *et al.* (1991) menciona que algunos miembros de la familia Chilodonellidae se alimentan de bacterias, tal es el caso de miembros de los géneros *Chilodonella* y *Odontoclamys*, los dos taxones más parecidos a los individuos registrados en Piedra Azul. Durante la temporada de verano se observaron varios peces muertos en el arroyo, con lo que el florecimiento de bacterias en el agua se pudo ver favorecido y de esta manera hubo un incremento poblacional de Chilodonellidae gen. sp. Lo anterior indica que la presencia de bacterias pudo favorecer el establecimiento de comunidades de este grupo.

*Coleps elongatus* estuvo ausente durante el muestreo de primavera, sin embargo, alcanzó su máxima frecuencia durante el otoño, cuando se registró tanto en la presa como en el arroyo. Es muy probable que las mejores condiciones para el desarrollo de esta especie se encontraran en el arroyo, en donde se registró en al menos tres de los cuatro muestreos. Por su parte, su congénere *C. hirtus*, sólo estuvo ausente en la presa en la temporada de secas de invierno, Foissner *et al.* (1994) registraron que esta es una especie que se puede encontrar durante todo el año tanto en aguas estancadas como corrientes, es probable que las condiciones de la presa en aquella época del año no fueran especialmente favorables para la especie.

*Aspidisca* sp. estuvo ausente en las muestras del arroyo en la temporada de secas de invierno y en todos los muestreos se registró con más frecuencia en la presa. Foissner *et al.* (1991) mencionan que la especie *Aspidisca cicada* Müller 1786 -la más común dentro del género- suele ser poco frecuente en aguas con corriente, por lo que no se descarta la posibilidad de que lo mismo aplique para la especie encontrada en Piedra Azul. *Cyclidium* sp. tampoco se registró en los muestreos de invierno, y estuvo ausente en la presa durante primavera y en el arroyo durante otoño, sin embargo, cuando se registró,



siempre hubo varios individuos por preparación, particularmente en las muestras de la presa en otoño; Foissner *et al.* (1994) mencionan que algunas especies del género -como *C. glaucoma*- tuvieron su pico de abundancia en otoño, lo que es consistente con la morfoespecie encontrada en Piedra Azul.

*Euplotes woodruffi*, al igual que algunas otras morfoespecies de este trabajo, tuvo su máxima frecuencia durante el otoño. De esta especie se conocen pocos datos ecológicos (Song y Bradbury, 1997; Dai *et al.*, 2013) y no existe evidencia de enquistamiento, sin embargo, los datos recabados durante este trabajo sugieren que el mínimo de abundancia de esta morfoespecie se da en la primavera y el máximo durante el otoño, además, no estuvo presente en la presa durante la época de transición, por lo que la desecación del sitio no resultó un factor tolerable para estos microorganismos. Otro factor que pudo determinar la baja densidad poblacional de esta morfoespecie en Piedra Azul es su comportamiento alimenticio, pues puede alimentarse de algas, las cuales no fueron muy abundantes en la localidad.

*Vorticella convallaria* fue una especie común en el arroyo y alcanzó su máxima frecuencia durante la temporada de otoño, cuando se registró también en la presa. Lo anterior coincide a medias con lo registrado por Foissner *et al.* (1992) quienes mencionan que esta es una especie que se puede encontrar durante todo el año, con una máxima abundancia en las temporadas de primavera y otoño. Si bien fue particularmente frecuente durante el otoño, en primavera no se observó una frecuencia mayor a la de los muestreos restantes, esto se puede atribuir a que las condiciones ambientales y ecológicas en Piedra Azul durante el otoño fueron las más adecuadas para el establecimiento de las poblaciones de esta especie.

Finalmente, tanto *Spirostomum teres* como *P. caudatum* fueron frecuentes en cada estación del año, lo que es consistente con lo descrito por Foissner *et al.* (1992, 1994) quienes mencionan que estas especies suelen ser numerosas durante todo el año.

#### **Especies poco frecuentes:**

*Cinetochilum* sp. se registró únicamente en primavera y otoño en la presa y el arroyo respectivamente. Foissner *et al.* (1994), menciona que la especie *C. margaritacerum* -la más común del género- suele ser escasa o poco numerosa en los ambientes en donde se ha registrado, además, existe evidencia de formación de quistes. Los comportamientos anteriormente descritos son consistentes con los de la especie encontrada en Piedra Azul, pues siempre fue poco numerosa y no se registró su presencia en la presa en la temporada de verano, cuando ésta se secó completamente, por lo que no se descarta que por lo menos durante esta temporada, la especie haya estado inactiva en dicho sitio.

*Frontonia* sp. 1, *Lembadion* sp., *Stylonychia mytilus* complejo y *Tetmemena pustulata-vorax* complejo, fueron morfoespecies raras y escasas. Todas ellas se caracterizan por comportamientos alimenticios similares, pues tienden a alimentarse de algas (Foissner *et al.*, 1991, 1994; Pratt y Cairns, 1985). Si bien se detectó la presencia de algas tanto en la presa como en el arroyo, éstas no eran muy frecuentes, y a ello se atribuye la baja densidad de estos microorganismos durante todos los muestreos. Tanto *S. mytilus* complejo, como *T. pustulata-vorax* complejo y, probablemente *Frontonia* sp. 1, tienen la capacidad de formar quistes de reposo bajo condiciones adversas, por ello, no se descarta la posibilidad de que estas morfoespecies se encontraran enquistadas en algunos muestreos, ya sea por la falta de alimentos o por la sequía. En el caso de *Lembadion* sp., se ha registrado que algunas especies como *Lembadion lucens* requiere de algunas condiciones físico-químicas muy específicas para desarrollarse, por lo que su presencia o ausencia puede verse influida por dichas condiciones (Foissner *et al.*, 1994), por lo anterior, no se descarta la posibilidad de que la morfoespecie encontrada en Piedra Azul sea poco frecuente debido a las mismas razones.

*Halteria* sp. fue una especie poco frecuente, sin embargo, se observó una mayor frecuencia durante las temporadas de otoño y primavera, cuando se registró su presencia tanto en el arroyo como en la presa. Foissner *et al.* (1991) menciona que la especie *H. grandinella* -la más común del género- se distribuye mayormente en aguas estáticas y más esporádicamente en ambientes con corriente, además, alcanza sus picos de abundancia precisamente en las temporadas de primavera y otoño, lo que es consistente con lo observado en Piedra Azul.

*Loxodes striatus* por su parte, también fue poco numerosa durante todos los muestreos, lo que no es consistente con lo registrado por Foissner *et al.* (1995), quienes mencionan que esta especie es común durante todo el año, pero que tiene su máxima frecuencia durante el verano. Si bien se registró su presencia en los cuatro muestreos, la máxima frecuencia ocurrió en la temporada de primavera, particularmente en la presa. Es probable que las diferencias entre lo observado en Piedra Azul y lo registrado en la literatura, se deba a que la presa se secó completamente durante el verano, lo que pudo no ser favorable para esta especie. Foissner *et al.* (1995) también mencionan que esta morfoespecie se puede encontrar en zonas anóxicas acompañado de otros ciliados como *Metopus*, lo que coincidió en los muestreos de invierno, verano y primavera. Si bien esta especie se alimenta de algas, también es capaz de alimentarse de bacterias, por ello es de esperarse que fuera un poco más frecuente que aquellos ciliados que preferentemente se alimentan de algas.

*Urocentrum turbo* se registró en dos ocasiones, de las cuales, fue particularmente frecuente durante la temporada de lluvias en otoño. Foissner *et al.* (1994) mencionan que esta es una especie de

ocurrencia extendida durante todo el año en ambientes de agua corriente y de flujo lento, además, documentó su presencia junto a otras especies que también se registraron en este trabajo, tales como *Paramecium caudatum* y *Coleps hirtus*. Los datos de este trabajo sugieren que en el otoño existieron las condiciones ambientales y ecológicas más favorables para su proliferación y establecimiento. No se descarta la presencia de esta morfoespecie en otras temporadas del año, sin embargo, las poblaciones probablemente fueron muy pequeñas y por ello no fue posible su avistamiento en esos momentos.

*Vorticella campanula* sólo se registró en los muestreos de primavera y otoño. En ambas ocasiones se encontró a esta especie formando colonias muy abundantes. Foissner *et al.* (1992) mencionan que esta especie es común durante el año y que su mínima abundancia se da durante el verano, lo que no fue totalmente consistente con lo observado en Piedra Azul, en donde la especie no se registró durante las temporadas de verano e invierno, por lo que es probable que las poblaciones de este taxón hayan sido tan pequeñas durante estas épocas que fue imposible observarlas. Su congénere *Vorticella* sp. se registró durante la primavera y el otoño, sin embargo, en primavera sólo se observó ocasionalmente y en otoño fue más frecuente. No hubo registros de este taxón en las temporadas de verano e invierno, por lo que es probable que en otoño se dieran las condiciones más favorables para esta especie. Usualmente se le observó individualmente, no obstante, también se le vio formando grupos pequeños de apenas unos pocos individuos. Las especies más parecidas a *Vorticella* sp. y que se mencionaron con anterioridad en los resultados -*V. octava* complejo y *V. aquadulcis* complejo- se han documentado siempre como poco numerosas (Foissner *et al.*, 1992).

### **Especies raras:**

Mientras que *Brachonella* sp. se registró en las temporadas de primavera y verano exclusivamente en la presa, *Metopus* sp. se registró en tres muestreos y los avistamientos de esta especie fueron tanto en el arroyo como en la presa, siendo un poco más frecuente en este último sitio. Ambas especies se observaron con mayor frecuencia en la temporada de secas de primavera. Como se mencionó con anterioridad, estos *taxa* son de hábitos anaerobios, por lo que es probable que los niveles de oxígeno disuelto en Piedra Azul fueron particularmente bajos durante las estaciones de primavera y verano, una condición ideal para el desarrollo de estos metópodos, pues existe evidencia de que, al menos en lagos poco profundos, las temperaturas más cálidas provocan una menor solubilidad de oxígeno en el agua, y por ende, se favorece la proliferación de organismos anaerobios (Science for Environment Policy, 2023). Lo anterior es consistente con las condiciones ambientales del sitio muestreado, pues

la primavera suele ser la temporada más cálida, seguida por el verano, el otoño y finalmente el invierno.

*Dexiotricha* sp. se registró en el arroyo en la temporada de otoño. Anteriormente se determinó que la especie *D. granulosa* ha sido particularmente numerosa durante el mes de octubre (Foissner *et al.*, 1994), por lo que no se descarta que la especie que se encontró en Piedra Azul pueda tener un comportamiento similar. Dado que en *D. granulosa* no se ha observado enquistamiento, es posible que la ausencia de este taxón en la mayoría de los muestreos en Piedra Azul se deba a que las poblaciones fueron tan pequeñas que no se pudo detectar su presencia.

Epistylididae gen. sp. 1 y Epistylididae gen. sp. 2 se registraron en el arroyo en verano y otoño respectivamente. Es muy probable que estos *taxa* sean poco numerosos en general y por ello fue raro observarlos. *Epystilis* Ehrenberg 1830 -uno de los géneros más comunes dentro de la familia- se conforma de especies que mayoritariamente son epibiontes de invertebrados y muy pocas veces se ha observado en vida libre (Wang *et al.* 2016), por lo que es probable que las pequeñas colonias encontradas en Piedra Azul fueran raras por lo anteriormente descrito. Cabe la posibilidad de que estos *taxa* estuvieran asociados a otros organismos y que, por lo mismo, fuera difícil observarlos.

*Frontonia* sp. 2 únicamente se observó en la temporada de secas de primavera. Debido a la ausencia de algas en el citoplasma, es probable que la fuente de alimento de este taxón en particular sean las bacterias, por lo que su ausencia en el resto de los muestreos seguramente no es debido a la falta de alimento. Además, es muy probable que las condiciones ambientales y ecológicas que proporciona la primavera sean las ideales para la proliferación de la especie y por ello pudo observarse frecuentemente en la presa durante esa temporada. La especie *F. acuminata* -que comparte algunas características morfológicas con la morfoespecie encontrada en Piedra Azul- se caracteriza por encontrarse frecuentemente en ambientes lénticos y por enquistarse cuando las condiciones ambientales no son favorables (Foissner *et al.*, 1994), por lo que no se descarta el enquistamiento de los individuos de Piedra Azul -especialmente en la temporada de verano o de transición-, además, seguramente esta también sea una especie poco numerosa durante la mayor parte del año y por ello es raro observarla.

*Lacrymaria* sp. sólo se registró en la presa en la temporada de otoño. Anteriormente, Foissner *et al.*, 1995 registraron el mayor pico de abundancia de la especie *L. olor* en la misma temporada; además mencionan que dicha especie es poco frecuente en ambientes con corriente y tiene predilección por aguas con un flujo muy lento o agua estancada. Lo anterior es consistente con lo registrado en Piedra Azul, sin embargo, dado que no se observó a la especie en ningún otro muestreo, es probable que la

especie o bien estuviera en su forma de quiste, o que sus poblaciones no se vieran favorecidas debido a que ni la presa ni el arroyo contaban con las condiciones bióticas y abióticas para su exitosa proliferación el resto del año.

Los miembros de la familia Vaginicolidae -*Pyxicola* sp., *Thuricola* sp. y *Vaginicola* sp.- fueron especies raras durante los muestreos. En general, estos microorganismos han sido poco estudiados, por lo que los datos ecológicos y de ocurrencia son escasos. Foissner *et al.* (1992) mencionan que algunas especies de *Pyxicola* y *Vaginicola* son poco numerosas durante el año y alcanzan sus máximas frecuencias durante el verano y el otoño. En Piedra Azul tanto *Pyxicola* sp. como *Thuricola* sp. se observaron con mayor frecuencia en la temporada de lluvias de otoño, sin embargo, *Pyxicola* sp. también se registró en una ocasión en la temporada de secas de invierno. Por su parte, *Vaginicola* sp. se registró en una única ocasión en la temporada de secas de primavera. No existe evidencia del enquistamiento en estos *taxa*, por lo que es probable que estos simplemente sean poco numerosos durante todo el año y a ello se le atribuya su escasez durante este estudio. Además, la lórica por sí misma ya representa un mecanismo de protección frente a condiciones adversas como la desecación (Dovgal y Gavrilova, 2018), por lo que el enquistamiento es poco probable.

*Paramecium bursaria* sólo se observó en la presa en la temporada de lluvias de otoño. En la literatura se menciona que esta especie presenta sus mayores picos de abundancia entre abril y junio (Foissner *et al.*, 1994). Por otro lado, Landis (1982) menciona que *P. bursaria* puede exhibir distintas distribuciones espaciales y temporales, y que es más común encontrarla en muestras de agua superficial y en muestras de la interfaz lodo-agua; además, registró que es una especie común en periodos de estrés ambiental durante el otoño tardío y el invierno, e incluso después de una sequía. Este autor también señala que *P. bursaria* tiene una ecología especial debido a su capacidad autótrofa y es por ello que esta especie no suele agruparse en “parches específicos de nutrientes” como sí lo hacen las especies del complejo *P. aurelia* que se alimentan de bacterias. *Paramecium bursaria* solamente requiere de una buena disponibilidad de luz que provea los recursos necesarios a sus simbiontes para llevar a cabo la fotosíntesis, y como lo único que restringe el paso de la luz es la transparencia del agua, esta especie no suele encontrarse agrupada y los individuos de una población rara vez entran en contacto. Lo anterior es consistente con lo registrado en la presa, en donde se encontró un individuo de *P. bursaria* en un periodo de estrés -luego de una sequía-. Debido a que en el género *Paramecium* no hay indicio de la formación de quistes, la rara o nula aparición de esta especie en los muestreos de otoño e invierno se podría atribuir a que los individuos rara vez se encuentran formando colectivos, pues la presencia de algas simbióticas les otorga la capacidad de beneficiarse con los recursos obtenidos a través de la fotosíntesis. Su ausencia en los muestreos de

primavera e invierno probablemente se deba a que las poblaciones eran mucho más pequeñas y, por tanto, más raras y escasas. Es probable que un mayor esfuerzo de muestreo permitiera aislar más individuos de los que se lograron registrar.

*Spirostomum subtilis* sólo se registró en las temporadas de secas de invierno y verano. Dado que es una especie que se ha registrado pocas veces en el mundo, no se conocen muchas características ecológicas y ambientales de la especie, aunque en todas las ocasiones sólo se ha determinado su presencia en ambientes de agua dulce (Boscaro *et al.*, 2014; Chi *et al.*, 2020). Los datos recabados en este trabajo sugieren que los picos de frecuencia de la especie se dan en las temporadas de primavera e invierno, y dado que se desconoce si forman quistes de reposo, lo más probable es que tanto en verano como en otoño no existan las características ambientales y ecológicas necesarias para la proliferación de la especie, por lo que las poblaciones podrían ser muy escasas y raras.

*Vorticella convallaria* var. *citrina* se registró en un solo muestreo en la temporada de verano. Las muestras se obtuvieron de un cultivo realizado a partir de granos de trigo; la variedad no pudo ser observada en las muestras originales, sin embargo, no se descarta que su presencia haya sido tan mínima, que fuera indetectable en la observación de las preparaciones originales. El cultivo favorece la proliferación de bacterias -alimento predilecto de este tipo de microorganismos- (Foissner *et al.* 1992) y es muy probable que ésta haya sido la razón principal de la coloración amarilla del citoplasma de la morfoespecie, no obstante, cabe aclarar que la coloración no fue vista en ningún otro muestreo a pesar de que se siguió exactamente el mismo proceso de cultivo en las épocas del año subsecuente.

Anteriormente se mencionó que los resultados reflejan una mayor cantidad de morfoespecies en la temporada de otoño, y existen otros estudios de abundancia y composición de especies de ciliados en los que se ha observado la misma tendencia (Müller *et al.*, 1991; James *et al.* 1995; Hadas y Berman, 1998). De acuerdo con Küppers y Claps (2012), en ambientes poco estables o temporales -como lo puede ser la presa Piedra Azul- se observa una mayor riqueza, abundancia y biomasa de especies durante la fase de llenado, cuando hay una mayor estabilidad hídrica y de temperatura. En Piedra Azul, la época de llenado se dio precisamente entre julio y octubre, no obstante, es claro que en el verano la mayor diversidad de ciliados se dio en el arroyo, esto debido a que la presa apenas comenzaba a llenarse y se observó una clara sequía en ese sitio, con lo que muy pocas *taxa* pudieron proliferar adecuadamente o estar activos en ese sitio de muestreo. De acuerdo con lo anterior, el otoño representó la temporada más estable para la proliferación de distintos *taxa* de ciliados y por ello, tanto en el arroyo como la presa se observó la mayor diversidad de estos microorganismos en comparación con otras épocas del año (véase tabla 4).

## **Distribución geográfica: Cosmopolitismo vs endemismos.**

Determinar la distribución de cada uno de los *taxa* de este trabajo resulta complicado, pues no sólo no fue posible determinar a nivel de especie en muchos casos, sino que los trabajos que implican la distribución de ciliados son escasos (Zaleski y Claps, 2001).

De acuerdo con Espinosa-Organista *et al.* (2005) se puede categorizar tres grupos de organismos con base en su distribución geográfica, considerando endemismos sólo si se distribuyen en una región biogeográfica y cosmopolitismo si se distribuyen en 5 y 6 regiones biogeográficas.

*Coleps elongatus*, *C. hirtus*, *Loxodes striatus*, *Paramecium bursaria*, *P. caudatum*, *Spirostomum teres*, *Stentor roeselii*, *Stylonychia mytilus* complejo, *Tetmemena pustulata-vorax* complejo, *Urocentrum turbo*, *Vorticella campanula* y *V. convallaria* complejo son especies con una amplia distribución geográfica y se consideran cosmopolitas (Foissner *et al.*, 1991, 1992, 1994, 1995; Méndez-Sánchez, 2017).

Es necesario mencionar que en algunas morfoespecies dentro de los géneros *Aspidisca*, *Cinetochilum*, *Cyclidium*, *Frontonia*, *Halteria*, *Metopus* y *Lembadion*, así como algunos miembros de la familia Chilodonellidae se ha registrado cosmopolitismo (Foissner *et al.*, 1991, 1992, 1994; Méndez-Sánchez, 2017).

En otros *taxa* como *Brachonella*, *Euplotes woodruffi*, *Pyxicola*, *Thuricola* y *Vaginicola* se ha determinado una distribución amplia, pero no llegan a ser cosmopolitas (Foissner *et al.*, 1992; Dai *et al.*, 2013; Méndez-Sánchez, 2017).

Finalmente, la distribución de *Spirostomum subtilis* y *Vorticella convallaria* var. *citrina* se considera restringida, pues sólo se han registrado formalmente en Europa y Asia (Foissner *et al.*, 1992; Boscaro *et al.*, 2014; Chi *et al.*, 2020).

La mayoría de los organismos que se registraron en Piedra Azul tienen una distribución amplia o cosmopolita. Estos resultados, en gran parte, apoyan la teoría de "todo está en todas partes" de Finlay (1998, 2004), cuyo modelo explica que los microorganismos son ubicuos o tienen una distribución cosmopolita debido a sus altas tasas de migración y a las bajas tasas de especiación alopátrica que limitan los endemismos. Sin embargo, estos datos también reafirman el modelo de endemidad moderada de Foissner (2004, 2006, 2007, 2008), quien menciona que existen *taxa* con una distribución restringida o que son raras. Tal y como se documenta en este trabajo, por el momento *Spirostomum subtilis* y *Vorticella convallaria* var. *citrina* son, aparentemente, especies con

distribución restringida, aunque cabe la posibilidad de que estas especies también pueden encontrarse en otras partes del mundo.

Este trabajo también proporciona evidencia de que la diversidad de ciliados está siendo subestimada, pues algunas especies pueden ser muy raras, poco frecuentes o estar enquistadas, y, por tanto, encontrarlas o no, dependen de distintos factores como el esfuerzo de muestreo, el momento del muestreo, el tiempo que se dedica a la revisión de muestras y la experiencia del taxónomo, entre otros.



## Conclusiones:

Se determinaron treinta y tres *taxa* de ciliados de vida libre que se distribuyen entre la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece, once de estos registros se lograron determinar a nivel de especie, quince a nivel de género, tres a nivel de familia y cuatro se identificaron como complejos de especies.

Se encontró que existen factores importantes para la conformación de comunidades de ciliados, tales como la estacionalidad y el enquistamiento, los cuales promovieron la presencia-ausencia de las especies en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece.

La mayor cantidad de morfoespecies de ciliados se registraron durante la temporada de lluvias de octubre. La presa se considera un ambiente temporal, por ello, la fase de llenado representa la temporada más favorable para el establecimiento de las comunidades de ciliados. Por otro lado, durante las temporadas de primavera, verano e invierno se registró un número muy similar de especies.

La mayoría de las morfoespecies registradas en este trabajo se alimentan de detritos y bacterias, lo que sugiere que este grupo de procariotas son un componente abundante en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece.

Las especies *Coleps elongatus*, *Euplotes woodruffi*, *Spirostomum subtilis* y *Vorticella convallaria* var. *citrina*, así como *Tetememena pustulata-vorax* complejo, *Vorticella convallaria* complejo y las morfoespecies de los géneros *Frontonia*, *Pyxicola*, *Thuricola*, *Vaginicola* y los miembros de la familia Epistylididae, representan nuevos registros para el estado de Oaxaca.

Las especies *Spirostomum subtilis* y *Vorticella convallaria* var. *citrina* representan nuevos registros para el país y el continente americano.

El presente trabajo contribuye al conocimiento de la diversidad de Ciliophora en el estado de Oaxaca, México y el continente americano.

Estos son los primeros registros sobre la diversidad de ciliados de vida libre en la presa Piedra Azul y el arroyo que la abastece.

## Referencias bibliográficas:

- Abraham, J. S., Somasundaram, S., Maurya, S., Gupta, R., Makhija, S. y Toteja, R. (2021). Characterization of *Euplotes lynn* nov. spec., *E. indica* nov. spec. and description of *E. aediculatus* and *E. woodruffi* (Ciliophora, Euplotidae) using an integrative approach. *European Journal of Protistology*, 79, 1-28. DOI: 10.1016/j.ejop.2021.125779
- Abraham, J., Sripoorna, S., Maurya, S., Makhija, S., Gupta, R., Toteja, R. (2019). Techniques and tools for species identification in ciliates: a review. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(4), 877-894. DOI: 10.1099/ijsem.0.003176
- Adl, S., Bass, D., Lane, C., Lukeš, J., Schoch, C., Smirnov, A., Agatha, S., Berney, C., Brown, M., Burki, F., Cárdenas, P., Čepička, I., Chistyakova, L., Del Campo, J., Dunthorn, M., Edvardsen, B., Eglit, Y., Guillou, L., Hampl, V., Heiss, A., Hoppenrath, M., James, T., Karnkowska, A., Karpov, S., Kim, E., Kolisko, M., Kudryavtsev, A., Lahr, D., Lara, E., Le Gall, L., Lynn, D., Mann, D., Massana, R., Mitchell, E., Morrow, C., Park, J., Pawlowski, J., Powell, M., Richter, D., Rueckert, S., Shadwick, L., Shimano, S., Spiegel, F., Torruella, G., Youssef, N., Zlatogursky, V. y Zhang, Q. (2019). Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 66(1), 4-119. DOI: 10.1111/jeu.12691
- Agatha, S. (2009). Oligotrich Planktonic Ciliates. In Röttger, R., Knight, R. y Foissner, W. *Protozoological Monographs*. Vol. 4. Germany: Shaker Verlag. 185-193.
- Aladro-Lubel, M. A., Mayén-Estrada, R. y Reyes-Santos, M. (2006). *Listados Faunísticos de México-XI. Registro actualizado de ciliados*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología.
- Aladro-Lubel, M. A., Reyes-Santos, M. y Olvera-Bautista, F. (2009). Diversidad de los protozoos ciliados. En Lot, A. y Cano-Santana, Z (Eds.), *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel* (pp. 61-68). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Antonio-González, F. (s.f). Teotitlán del Valle – plan municipal de desarrollo 2011-2013 Disponible en: [https://finanzasooaxaca.gob.mx/pdf/inversion\\_publica/pmds/11\\_13/546.pdf](https://finanzasooaxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/11_13/546.pdf)
- Aristeo-Hernández, J. (2017). *Estudio de los ciliados asociados a moluscos dulceacuícolas (Bivalvia y Gastropoda) de cuerpos de agua continentales de Chiapas y Oaxaca, México*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Boscaro, V., Carducci, D., Barbieri, G., Senra, M., Andeoli, I., Erra, F., Petroni, G., Verni, F. y Folkin, S. (2014). Focusing on genera to improve species identification: revised systematics of the ciliate *Spirostomum*. *Protist*, 165, 527-541. DOI: 10.1016/j.protis.2014.05.004
- Bourland, W. y Wendell, L. (2014). Redescription of *Atopospira galeata* (Kahl, 1927) nov. comb. and *A. violacea* (Kahl, 1926). nov. comb. with redefinition of *Atopospira* Jankowski, 1964 nov. stat. and *Brachonella* Jankowski, 1964 (Ciliophora, Armophorida). *European Journal of Protistology*, 50(4), 356-372. DOI: 10.1016/j.ejop.2014.05.004
- Bourland, W., Pomahač, O. y Čepička, I. (2022). Morphology and phylogeny of two anaerobic freshwater ciliates: *Brachonella comma* sp. nov. and the widely distributed but little-known caenomorphid, *Ludio parvulus* Penard, 1922. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 69. DOI: 10.1111/jeu.12892
- Bourland, W., Wendell, L. y Hampikian, G. (2014). Morphologic and molecular description of *Metopus fuscus* Kahl from North America and new rDNA sequences from seven metopids (Armophorea, Metopidae). *European Journal of Protistology*, 50, 213-230. DOI: 10.1016/j.ejop.2014.01.002
- Cai, X., Wang, C., Pan, X., El-Serehy, H., Mu, W., Gao, F. y Qiu, Z. (2018). Morphology and systematics of two freshwater *Frontonia* species (Ciliophora, Peniculida) from northeastern China, with comparisons among the freshwater *Frontonia* spp. *European Journal of Protistology*, 63, 105-116. DOI: 10.1016/j.ejop.2018.01.002
- Chen, Y., Pan, H., Huang, J., Warren, A., Al-Farraj, S. y Gao, S. (2016). New considerations on the phylogeny of cyrtophorian ciliates (Protozoa, Ciliophora): expanded sampling to understand their evolutionary relationships. *Zoologica Scripta*, 45, 334-348. DOI: 10.1111/zsc.12150
- Chen, Y., Zhao, Y., Pan, X., Ding, W., Al-Rasheid, K. y Qiu, Z. (2014). Morphology and Phylogeny of a New *Frontonia* Ciliate, *F. paramagna* spec. Nov. (Ciliophora, Peniculida) from Harbin, Northeast China. *Zootaxa*, 3(3827), 375-386. DOI: 10.11646/zootaxa.3827.3.7
- Chi, Y., Duan, L., Luo, X., Cheng, T., Warren, A., Huang, J. y Chen, X. (2020). A new contribution to the taxonomy and molecular phylogeny of three, well-known freshwater species of the ciliate genus *Spirostomum* (Protozoa: Ciliophora: Heterotracha). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 189, 158-177. DOI: 10.1093/zoolinnean/zlz115

- Chithra, P. y Kumar, S. (2019). New distributional records of eighteen species of *Vorticella* (Ciliophora: Peritricha) from mangrove ecosystem of Ayiramthengu in southwest coast of India. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 1(6), 100-105. DOI: 10.6024/jmbai.2019.61.1.1926-15
- Corliss, J. O. (1979). *The Ciliate Protozoa: Characterization, Classification and Guide to the Literature*. (2nd ed.). New York: Pergamon Press.
- Cruz-Jiménez, G. (2017). *Riqueza de ciliados (Protozoa: Ciliophora) que habitan en Campylopus pilifer Brid. (Bryophyta) en un gradiente altitudinal n el estado de Oaxaca*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Curds, C. R. (1975). A guide to the species of the genus *Euplotes* (Hypotrichida, Ciliatea). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, 1(28), 1-61.
- Dai, R., Xu, K. y He, Y. (2013). Morphological, physiological, and molecular evidences suggest that *Euplotes parawoodruffi* is a junior synonym of *Euplotes woodruffi* (Ciliophora, Euplotida). *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 60, 70-78. DOI: 10.1111/jeu.12007
- Dovgal, I. y Gavrilova, N. (2018). Diversity and functions of loricae in ciliates (Ciliophora). *Marine Biological Journal*, 3(3), 13-21. DOI:10.21072/mbj.2018.03.3.02
- Dunthorn, M., Stoeck, T., Clamp, J., Warren, A. y Mahé, F. (2014). Ciliates and the Rare Biosphere: A Review. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 61, 404-409. DOI: 10.1111/jeu.12121
- Durán-Ramírez, C., García-Franco, J., Foissner, W. y Mayén-Estrada, R. (2015). Free-living ciliates from epiphytic tank bromeliads in Mexico. *European Journal of Protistology*, 51: 15-33. DOI: 10.1016/j.ejop.2014.09.002
- Espinosa-Organista, D., Morrone, J. J., Llorente-Bousquets, J. y Flores-Villela, O. (2005). *Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica*. México: Las Prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Esteban, G. F. y Finlay, B. J. (2007). Exceptional species richness of ciliate protozoa in pristine intertidal rock pools. *Marine Ecology-Progress Series*, 335:133-141. DOI: 10.3354/meps335133
- Esteban, G., Fenchel, T. y Finlay, B. (1995). Diversity of Free-Living Morphospecies in the Ciliate Genus *Metopus*. *Archiv Für Protisten Kunde*, 145, 137-164. DOI: 10.1016/S0003-9365(11)80106-5

Esteban, G., Fenchel, T. y Finlay, B. (2010). Mixotrophy in ciliates. *Protist*, 5(161), 621-641. DOI: 10.1016/j.protis.2010.08.002.

Fan, X., Al-Farraj, S. A., Gao, F. y Gu, F. (2014). Morphological reports on two species of *Dexiotricha* (Ciliophora, Scuticociliatia), with a note on the phylogenetic position of the genus. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64, 680-688. DOI: 10.1099/ijs.0.059899-0

Finlay, B. J. (1998). The global diversity of protozoa and other small species. *International Journal of Parasitology*, 28, 29-48. DOI: 10.1016/s0020-7519(97)00167-7

Finlay, B. J. (2004). Protist taxonomy: an ecological perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 359, 599-610. DOI: 10.1098/rstb.2003.1450

Finlay, B., Corliss, J., Esteban, G. y Fenchel, T. (1996). Biodiversity at the microbial level: the number of free-living ciliates in the biosphere. *The Quarterly Review of Biology*, 71, 221-237. DOI: 10.1086/419370

Flegontov, P. y Lukeš, J. (2012). Chapter six - Mitochondrial Genomes of Photosynthetic Euglenids and Alveolates. In Maréchal-Drouard. *Advances in Botanical Research*, 63, 127-153. DOI: 10.1016/B978-0-12-394279-1.00006-5

Foissner, W. (1987). Soil Protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progress in Protistology*, 2, 69-212.

Foissner, W. (1999). Protist diversity: estimates of the near-imponderable. *Protist*, 150: 363-368. DOI: 10.1016/S1434-4610(99)70037-4

Foissner, W. (2004). Ubiquity and cosmopolitanism of protists questioned. *SILnews*, 43, 6-7.

Foissner, W. (2006). Biogeography and dispersal of micro-organisms: A review emphasizing protists. *Acta Protozoologica*, 45, 111-136. ISSN: 0065-1583

Foissner, W. (2007). Dispersal and biogeography of protists: Recent advances. *Japan Journal of Protozoology*, 40, 1-16. DOI: 10.18980/jjprotozool.40.1\_1

Foissner, W. (2008). Protist diversity and distribution: some basic considerations. *Biodiversity and Conservation*, 17(2), 235-242. DOI: 10.1007/s10531-007-9248-5

Foissner, W., Berger, H. y Kohmann, F. (1992). Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band II: Peritrichida, Heterotrichida, Odontostomtida. Informationsberichte der Bayer. Landesamtes Wass 5/92: 1-502.

Foissner, W., Berger, H. y Kohmann, F. (1994). Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band III: Hymenostomata, Protostomatida, Nassulida. Informationsberichte der Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, 1-548.

Foissner, W., Blake, N., Wolf, K., Breiner, H. y Stoeck, T. (2010). Morphological and Molecular Characterization of Some Peritrichs (Ciliophora: Peritrichida) from Tank Bromeliads, Including Two New Genera: *Orborhabdostyla* and *Vorticellides*. *Acta protozoologica*, 48(4), 291-319.

Foissner, W., Blatterer, H., Berger, H. y Kohmann, F. (1991). Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 1/91, 478 pp.

Foissner, W., Chao, A. y Katz, L. (2007). Diversity and geographic distribution of ciliates (Protista: Ciliophora). *Biodiversity and Conservation*, 17(2), 345-363. DOI: 10.1007/s10531-007-9254-7

Foissner, W. y Wöfl, S. (1994). Revision of the genus *Stentor* Oken (Protozoa, Ciliophora) and description of *S. araucanus* nov. Spec. From South American lakes. *Journal of Plankton Research*, 3(16), 255-289. DOI: 10.1093/plankt/16.3.255

Folkin, S. I. (2010). *Paramecium* genus: biodiversity, some morphological features and the key to the main morphospecies discrimination. *Protistology*, 6(4), 227-235.

Ghosh, S., Bharti, D. y Kumar, S. (2021). Morphology of Indian populations of *Coleps elongatus* (Ehrenberg, 1830) Kahl, 1930 and *C. amphacanthus* Ehrenberg, 1833 (Ciliophora: Prostomatea: Prorodontida). *Records of the Zoological Survey of India*, 4(121), 447-452. DOI: 10.26515/rzsi/v121/i4/2021/158008

Gong, J. y Song, W. (2008). Morphology and infraciliature of a new marine ciliate, *Cinetochilum ovale* n. sp. (Ciliophora: Oligohymenophorea). *Zootaxa*, 1939, 51-57. DOI: 10.11646/zootaxa.1939.1.5

Greczek-Stachura, M., Rautian, M. y Tarcz, S. (2021). *Paramecium bursaria* - A complex of Five Cryptic Species: Mitochondrial DNA COI Haplotype Variation and Biogeographic Distribution. *Diversity*, 13(11), 589. DOI: 10.3390/d13110589

- Gupta, R., Abraham, J.S., Sripoorna, S., Maurya, S., Toteja, R., Makhija, S., Al-Misned, F. A. y El-Serehy, H. A. (2020). Description of a new species of *Tetmemena* (Ciliophora, Oxytrichidae) using a classical and molecular markers. *Journal of King Saud University - Science*, 32, 2316-2328. DOI: 10.1016/j.jksus.2020.03.009
- Hadas, O. y Berman, T. (1998). Seasonal abundance and vertical distribution of Protozoa (flagellates, ciliates) and bacteria in Lake Kinneret, Israel. *Aquatic Microbial Ecology*, 14, 161-170. DOI: 10.3354/ame014161
- Herfort, L., Peterson, T., Campbell, V., Futrell, S. y Zuber, P. (2011). *Myrionecta rubra* (*Mesodinium rubrum*) bloom initiation in the Columbia River estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(4), 440-446. DOI: 10.1016/j.ecss.2011.10.015
- Huang, J., Yi, Z., Miao, M., Al-Rasheid, K. A. S. y Song, W. (2010). Phylogenetic relationships within the genus *Aspidisca* (Protozoa, Ciliophora, Euplotida) revealed by ITS1-5.8S-ITS2 region sequences. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2(29), 277-283. DOI: 10.1007/s00343-011-0127-2
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010. Teotitlán del Valle, Oaxaca*. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/20/20546.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20546.pdf)
- Islas-Ortega, A. G., Aguilar-Aguilar, R., Marcotegui, P., Martorelli, S., Hernández-Mena, D. y Pérez-Ponce de León, G. (2018). Morphology and sequence data of mexican populations of the ciliate parasite of marine fishes *Trichodina rectuncinata* (Ciliophora: Trichodinidae). *Acta Protozoologica*, 57: 145-151. DOI:10.4467/16890027AP.18.012.8986
- James, M. R., Burns, C. W. y Forsyth, D. J. (1995). Pelagic ciliated protozoa in two monomictic, southern temperate lakes of contrasting trophic state: seasonal distribution and abundance. *Journal of Plankton Research*, 17(7), 1479-1500. DOI: 10.1093/plankt/17.7.1479
- Jang, S., Kwon, C. y Shin, M. (2012). First Records of Two *Spirostomum* Ciliates (Heterotrichea: Heterotrichida: Spirostomidae) from Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity*, 1(28), 29-35. DOI: 10.5635/ASED.2012.28.1.029
- Janouškovec, J., Horák, A., Oborník, M., Lukes, J. y Keeling P.J. (2010). A common red algal origin of the apicomplexan, dinoflagellate, and heterokont plastids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(24), 10949-54. DOI: 10.1073/pnas.1003335107

- Kim, J. y Jung, J. (2018). New record of five ciliates (Protozoa, Ciliophora) collected in eastern Gangwon-do Province, South Korea. *Journal of Species Research*, 7(2), 181-186. DOI: 10.12651/JSR.2018.7.2.181
- Kim, J. y Shin, M. (2016). Two Newly Recorded Vorticellid Species (Ciliophora, Oligohymenophorea, Peritrichia) from Jindo Island with Other Populations in Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity*, 9, 10-17. DOI: 10.5635/ASED.2016.SIN9.042
- Kim, S. (2015). A Morphological Study of Freshwater and Marine Benthic Ciliates (Protozoa: Ciliophora) from Korea. [Master in Science]. Chosun University.
- Kim, S., Yoon, J., Yonn, S. y Shin, M. (2017). Three Freshwater *Lembadion* Ciliates (Peniculida, Lembadionidae) Newly Reported from Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity*, 4(33), 246-255. DOI:10.5635/ASED.2017.33.4.037
- Kreutz, M. Stoeck, T. y Foissner, W. (2012). Morphological and Molecular Characterization of *Paramecium* (Viridoparamecium nov. subgen.) *chlorelligerum* Kahl, 1935 (Ciliophora). *The Journal of eukaryotic microbiology*, 59(6). DOI: 10.1111/j.1550-7408.2012.00638.x
- Kumar, S., Bharti, D., Quintela-Alonso, P., Shin, M. y La Terza, A. (2016). Fine-tune investigations on three stylonychid (Ciliophora, Hypotricha), ciliates. *European Journal of Protistology*, 56, 200-218. DOI: 10.1016/j.ejop.2016.09.006
- Küppers, G. C. y Claps, M. C. (2012). Spatiotemporal variations in abundance and biomass of planktonic ciliates related to environmental variables in a temporal pond, Argentina. *Zoological Studies*, 51(3), 298-313. ISSN: 1021-5506
- Küppers, G. C., Claps, M. C. y Lopretto, E. C. (2009). Ciliates (Protozoa) from dried sediments of a temporary pond from Argentina. *Revista mexicana de biodiversidad*, 80(3), 581-592. ISSN 2007-8706
- Lagunas-Calvo, O. (2014). *Parásitos de peces dulceacuícolas de la porción oaxaqueña de la Provincia Biogeográfica Sierra Madre del Sur, México*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca.
- Lagunas-Calvo, O., Aguilar-Aguilar, R., Islas-Ortega, A. G. y Martínez-Aquino, A. (2016). Parásitos de peces dulceacuícolas de la porción oaxaqueña de la provincia biogeográfica Sierra Madre del Sur. En: *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: Una síntesis preliminar*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 313-323.



- Landis, W. G. (1982). The spatial and temporal distribution of *Paramecium bursaria* in the littoral zone. *The Journal of Protozoology*, 29(2), 159-161. DOI: 10.1111/j.1550-7408.1982.tb04007.x
- Li, T., Pan, X., Lu, B., Miao, M. y Liu, M. (2021). Taxonomy and molecular phylogeny of a new freshwater ciliate *Frontonia apoacuminata* sp. nov. (Protista, Ciliophora, Oligohymenophorea) from Qingdao, PR, China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71. DOI: 10.1099/ijsem.0.005071
- Liu, W., Fan, X., Jung, H., y Grattepanche, D. (2022). Editorial: Ciliates: Key Organisms in Aquatic Environments. *Frontiers in Microbiology*, 13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.880871
- López-Ochoterena, E. (1970). Historia de las investigaciones sobre protozoarios de vida libre de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 31:1-15.
- Lu, B., Ji, D., Sheng, Y., Song, W., Hu, X., Chen, X. y Al-Rasheid, K. (2018). New discoveries of the genus *Thuricola* Kent, 1881 (Ciliophora, Peritrichia, Vaginicolidae), with descriptions of three poorly known species from China. *Acta Protozoologica*, 57, 12-143. DOI: 10.4467/16890027AP.18.011.8985
- Lu, B., Li, L., Hu, X., Ji, D., Al-Rasheid, K. y Song, W. (2019). Novel contributions to the peritrich family Vaginicolidae (Protista: Ciliophora), with morphological and phylogenetic analyses of poorly known species of *Pyxicola*, *Conthurnia* and *Vaginicola*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 187, 1-30. DOI: 10.1093/zoolinnean/zlz009
- Luna-Pabello, V. M. (2006). *Atlas de Ciliados y otros Microorganismos frecuentes en Sistemas de Tratamiento Aerobio de Aguas Residuales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lynn, D. y Gilron, G. (1992). A brief review of approaches using ciliated protists to assess aquatic ecosystem health. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 1, 263–270. DOI: 10.1007/BF00044168
- Lynn, D. (2006). *Ciliophora*. Encyclopedia of life sciences, John Wiley & Sons. DOI: 10.1038/npg.els.0004264
- Lynn, D. (2008). *The Ciliated Protozoa. Characterization, classification, and guide to the literature*. New York: Springer. 605 p.
- Lynn, D. (2009). *Ciliates*. Encyclopedia of Microbiology. (3rd Ed). Academic Press, 578-592. DOI: 10.1016/B978-012373944-5.00248-0.

- Macek, M., Callieri, C., Šimek, K. y Lugo, A. (2006). Seasonal dynamics, composition and feeding patterns of ciliate assemblages in oligotrophic lakes covering a wide pH range. *Archiv für Hydrobiologie*, 166, 261-287. DOI: 10.1127/0003-9136/2006/0166-0261
- Macek, M., Pestová, D. y Martínez, M. (2008). Seasonal and spatial dynamics of a ciliate assemblage in a warm-monomictic Lake Alchichica (Puebla, México). *Hidrobiológica*, 18, 25-35. ISSN 0188-8897.
- Mariño-Pérez, R., Dovgal, I. y Mayén-Estrada, R. (2011). New records of suctorians (Ciliophora: Sucturia) as epibionts of aquatic bugs (Hemiptera: Prosorrhyncha: Nepomorpha) from two regions: Mexico and Eastern Europe. *Zootaxa*, 2798, 48-60. DOI: 10.11646/zootaxa.2798.1.4
- Martín-González, A., Serrano, S., Guinea, A. y Fernández-Galiano, D. (1986). Further Studies on *Urocentrum turbo* O. F. M. (Ciliata): Morphology and Morphogenesis. *Archiv für Protistenkunde*, 132, 11-22. DOI: 10.1016/S0003-9365(86)80002-1
- Mayén-Estrada, R., Durán-Ramírez, C., Romero-Niembro, V., Reyes-Santos, M., Vicencio-Aguilar, M., Medina-Durán, J. y Olvera-Bautista, J. (2016). *Revista Brasileira de Zoociências*, 17(1): 132-139. ISSN 1517-6770.
- Mayén-Estrada, R., Reyes-Santos, M. y Aguilar-Aguilar, R. (2014). Biodiversidad de Ciliophora en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85. DOI: 10.7550/rmb.31993
- Mayén-Estrada, R., Reyes-Santos, M., Durán-Ramírez, C. A., Medina-Durán, J. H., Olvera-Bautista, J. F., Vicencio-Aguilar, M. E. y Romero-Niembro, V. M. (2020). *Protistas ciliados y flagelados heterótrofos*. Proyecto KT003. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/KT003\\_Anexo\\_Listado\\_Taxonomico.pdf](http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/KT003_Anexo_Listado_Taxonomico.pdf)
- Méndez-Sánchez, D. (2017). *Estudio taxonómico de ciliados de vida libre (Alveolata: Ciliophora) en cuerpos de agua dulce de dos regiones biogeográficas de México*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Méndez-Sánchez, D., Mayén-Estrada, R. y Hu, X. (2020). *Euplotes octocarinatus* Carter, 1972 (Ciliophora, Spirotrichea, Euplotidae): Considerations on its morphology, phylogeny, and biogeography. *European Journal of Protistology*, 74. DOI: 10.1016/j.ejop.2019.125667

- Méndez-Sánchez, D., Mayén-Estrada, R. y Ramírez-Corona, F. (2022). Evolutionary insights and brief review of *Loxodes* Ehrenberg, 1830 (Ciliophora, Karyorelicta, Loxodidae) with description of a new species from Mexico. *European Journal of Protistology*, 82. DOI: 10.1016/j.ejop.2021.125856
- Meraz, J. y Rodríguez-Rafael, E. (2019). Registro de una manada de *Stenella longirostris* durante la presencia de marea roja no tóxica. *Ciencia y mar*, XXIII(68), 35-38. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67, 557-564.
- Müller, H., Schöne, A., Pinto-Coelho, R. M., Schweizer, A. y Weisse, T. (1991). Seasonal succession of ciliates in lake constance. *Microbial Ecology*, 21, 119-138. DOI: 10.1007/BF02539148
- Omar, A, Jang, S. W. y Jung, J. H. (2023). Polymorphism, gigantism, and cannibalism, one stylonychid ciliate (Ciliophora, Hypotricha) to rule them all. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1-25. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1159634
- Pan, X., Liang, C., Wang, C., Warren, A., Mu, W., Chen, H., Yu, L. y Chen, Y. (2017). One freshwater species of the genus *Cyclidium*, *Cyclidium sinicum* spec. nov. (Protozoa; Ciliophora), with an improved diagnosis of the genus *Cyclidium*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67(3), 557-564. DOI: 10.1099/ijsem.0.001642
- Pan, H., Wang, L., Jiang, J. y Stoeck, T. (2016). Morphology of four cyrtophorian ciliates (Protozoa, Ciliophora) from Yangtze Delta, China, with notes on the phylogeny of the genus *Phascolodon*. *European Journal of Protistology*, 56, 134-146. DOI: 10.1016/j.ejop.2016.08.005
- Posch, T., Pitsch, G. y Bruni, E. (2022). Protists: Ciliates. In *Encyclopedia of Inland Waters*. (2nd ed). Elsevier, 639-649. DOI: 10.1016/B978-0-12-819166-8.00001-3
- Pratt, J. R. y Cairns, J. (1985). Functional Groups in the Protozoa: Roles in Differing Ecosystems. *The Journal of Protozoology*, 32(3), 415-423. DOI: 10.1111/j.1550-7408.1985.tb04037.x
- Prokoudine, A., Rahmani, A., Jonsson, A., Klapper, A., Pitonyak, A., Wernicke, A., Mackay, C., Egger, D., Hornung, D., Lee, D., Shahar, E., Boerema, J., Friedl, J., Smith, J., Jehan, Jensen, J., Mas, J., Hardelin, lillolollo , Paz, L., Ciampa, M., Boyce, M., Schumacher, M., Curtis, M., Ellis, O., Drag, P., Poole, R., Joost, R., Barry, S., Scootergrisen , SilverWoodchuck47, skierpage, Schmidt, S., Claussner, S., Neumann, S., Tc14, Sabsch, T. y William Skaggs. (2023). GIMP. (Versión 2.10.34.) [Software]. GNU Image Manipulation Program (GIMP) website: <https://www.gimp.org/>
- Pröschold, T., Rieser, D., Darienko, T., Nachbaur, L., Kammerlander, B., Qian, K., Pitsch, G., Bruni, E.P., Qu, Z., Forster, D., Rad-Menendez, C., Posch, T., Stoeck, T. y Sonntag, B. (2021). An integrative

approach sheds new light onto the systematics and ecology of the widespread ciliate genus *Coleps* (Ciliophora, Prostomatea). *Scientific reports*, 11. DOI: 10.1038/s41598-021-84265-y

Qu, Z., Groben, R., Marteinsson, V., Agatha, S., Filker, S. y Stoeck, T. (2019). Redescription of *Dexiotricha colpidiopsis* (Kahl, 1926) Jankowski, 1964 (Ciliophora, Oligohymenophorea) from a Hot Spring in Iceland with Identification Key for *Dexiotricha* species. *Acta protozoologica*, 57(2), 95-106. DOI:10.4467/16890027AP.18.009.8983

Qu, Z., Pan, H., Gong, J., Wang, C., Filker, S. y Hu, X. (2022). Historical Review of Studies on Cyrtophorian Ciliates (Ciliophora, Cyrtophoria) from China. *Microorganisms*, 10, 1325. DOI: 10.3390/microorganisms10071325.

Rasband, W. (2023). ImageJ. (Versión 1.52a) [Software]. National Institutes of Health: <https://imagej.net/ij/>

Ravindran, C., Irudayarajan, L. y Raveendran, H. (2023). Possible beneficial interactions of ciliated protozoans with coral health and resilience. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(10), 1-14. DOI: 10.1128/aem.01217-23

Rivas-Beltrán, M., Islas-Ortega, A. G., Contreras-Medina, R. y Aguilar-Aguilar, R. (2023). Ciliate diversity in a backyard fish farm from Zimatlán de Álvarez, Oaxaca Mexico: an island of aquatic microscopic biodiversity from a semi-urban área. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 5(51). DOI: <https://doi.org/10.3856/vol51-issue5-fulltext-3065>

Sanders, R. (2009). Protists. In *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press. 252-260. DOI: 10.1016/B978-012370626-3.00131-9.

Sartini, B., Marchesini, R., D'ávila, S., D'Agosto, M. y Pedroso-Dias, R. J. (2018). Diversity and Distribution of Peritrich Ciliates on the Snail *Physa acuta* Draparnaud, 1805 (Gastropoda: Physidae) in a Eutrophic Lotic System. *Zoological Studies*, 57. DOI: 10.6620/ZS.2018.57-42

Science for Environment Policy. (2023). *Decreasing levels of oxygen in deep lake water linked to longer warm seasons*. European Commission DG Environment News Alert Service, edited by the Science Communication Unit, The University of the West of England, Bristol.

Shao, C., Pan, X. Jiang, J., Ma, H., Al-Rasheid, K., Warren, A. y Lin, X. (2013). A redescription of the oxytrichid *Tetmemena pustulata* (Müller, 1786) Eigner, 1999 and notes on morphogenesis in the marine urostylid *Metaurostylopsis salina* Lei *et al.*, 2005 (Ciliophora, Hypotrichia). *European Journal of Protistology*, 49, 272-282. DOI: 10.1016/j.ejop.2012.07.003

- Song, W. y Bradbury, P. C. (1997). Comparative Studies on a New Brackish Water Euplotes, *E. parawoodruffi* n. sp., and a Redescription of *Euplotes woodruffi* Gaw, 1939 (Ciliophora; Hypotrichida). *Archiv für Protistenkunde*, 148, 399-412. DOI: 10.1016/S0003-9365(97)80019-X
- Stoecker, D., Silver, M., Michaels, A. y Davis, L. (1988). Obligate mixotrophy in *Laboea strobila*, a ciliate which retains chloroplasts. *Marine Biology*, 99, 415–423. DOI: 10.1007/BF02112135
- Trueba, F. J. (1978). A taxonomic revision of the peritrich ciliate genus *Pyxicola*. *Beaufortia*, 341(27), 219-243.
- Trueba, F. J. (1980). A taxonomic revision of the peritrich ciliate genus *Thuricola* and *Pseudothuricola*. *Beaufortia*, 5(30), 125-138.
- Verni, F. y Gualtieri, P. (1997). Feeding Behaviour in Ciliated Protists. *Micron*, 6(28), 487-504. DOI: 10.1016/S0968-4328(97)00028-0
- Wang, Z., Zhou, T., Guo, Q. y Gu, Z. (2016). Description of a New Freshwater Ciliate *Epistylis wuhanensis* n. sp. (Ciliophora, Peritrichia) from China, with a Focus on Phylogenetic Relationships within Family Epistylididae. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 64(3), 394-406. DOI: 10.1111/jeu.12375
- Warren, A. (1986). A revision of the genus *Vorticella* (Ciliophora: Peritrichida). *Bulletin of the British Museum Natural History (Zoology)*, 50: 1-57.
- Warren, A., Esteban, G. y Finlay, J. (2016). Chapter 2: Protozoa. In *Thorpe and Covich's Freshwater Invertebrates*. (4th ed). Academic press. 5-37. DOI: 10.1016/C2010-0-65590-8
- Warren, A., Patterson, D. J., Dunthorn, M., Clamp, J. C., Aescht, E., Carr, M., Day, J. G., Dellinger, M., Fan, Y., Gao, F., Gao, S., Gong, J., Gupta, R., Hu, X., Kamra, K., Langlois, G., Lin, X., Lipscomb, D., Lobban, C. S., Luporini, P., Lynn, D. H., Ma, H., Macek, M., Mackenzie-Dodds, J., Makhija, S., Mansergh, R., Martín-Cereceda, M., McMiller, N., Montagnes, D. J. S., Nikolaeva, S., Odhiambo, G., Pérez-Uz, B., Purushothaman, J., Quintela-Alonso, P., Rotterová, J., Santoferrara, L., Shao, C., Shen, Z., Shi, X., Song, W., Stoeck, T., La Terza, A., Vallesi, A., Wang, M., Weisse, T., Wiackowski, K., Wu, L., Xu, K., Yi, Z., Zufall, R. y Agatha, S. (2017). Beyond the “Code”: A Guide to the Description and Documentation of Biodiversity in Ciliated Protists (Alveolata, Ciliophora). *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 64(4), 539-554. DOI: 10.1111/jeu.12391
- Weisse, T. (2017). Functional diversity of aquatic ciliates. *European Journal of Protistology*, 61, 331-358. DOI: 10.1016/j.ejop.2017.04.001

Williams, D. D. (1987). *The ecology of temporary waters*. London: Croom Helm. 205 pp.

Wu, I. C. y Curds, C. R. (1979). A guide to the species of the genus *Aspidisca*. *Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology*. 36(1), 1-34.

Xu, Y., Pan, H., Miao, M., Hu, X., Al-Farraj, S., Al-Rasheid, K. A. S. y Song, W. (2015). Morphology and Phylogeny of Two Species of *Loxodes* (Ciliophora, Karyorelictea), with Description of a New Subspecies, *Loxodes striatus orientalis* subsp. n. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 62, 206-216. DOI: 10.1111/jeu.12162

Zaleski, M. y Claps, M. C. (2001). First record of some peritrichs ciliates for San Miguel del Monte pond (Buenos Aires, Argentina). *Gayana (Concepción)*, 65(1), 27-36. DOI: 10.4067/S0717-65382001000100007