



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Diversidad de ciliados (Alveolata:
Ciliophora) que habitan en los
estanques de una granja acuícola
en el estado de Oaxaca, México.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

INGRID PAOLA ANTONIO JASSO

TUTORA

DRA. ALMA GABRIELA ISLAS ORTEGA



Ciudad Universitaria, CD. MX, 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Alma Islas, por dirigir mi tesis, por ser una gran profesora y amiga, por los viajes y experiencias en campo, por todas las enseñanzas, por su paciencia, por siempre escucharme, apoyarme y confiar en mí. Muchas gracias.

Al Dr. Rogelio Aguilar por permitirme trabajar en el laboratorio, por el apoyo en campo y su apoyo siempre.

Al Dr. Raúl Contreras Medina por el apoyo y las facilidades proporcionadas para realizar la revisión de muestras en la Escuela de Ciencias, UABJO.

A los propietarios de la granja: el Ing. Ignacio Langlé y la Ing. Lucia Langlé por permitirme realizar el presente estudio en la granja acuícola “El Danzante”, por su disponibilidad y brindarme toda la ayuda e información necesaria.

Al taller de Zoología Acuática, por aceptarme, resolver mis dudas y por todo el conocimiento brindado.

Al Laboratorio de Zoología Acuática, por recibirme de la mejor manera, por las enseñanzas, por las facilidades y el apoyo en todo momento.

A mis sinodales, por su tiempo en la revisión de mi tesis, por sus recomendaciones y por sus comentarios para realizar un mejor trabajo.

A los pasantes de biología: Martín Rivas y Erika Vilchis, por su ayuda en campo, las pláticas, el conocimiento mutuo y por el apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mis padres, por su apoyo en todo momento y siempre confiar en mí.

A mi hermana, por su compañía, los consejos y todo su amor.

Al resto de mi familia, por estar pendiente de mí y apoyarme.

A mis amigos, en especial a Fernanda, Daniela y Fercho por alentarme siempre, por su amor y su apoyo incondicional a lo largo de los años. A Erika, Alejandra, Kristeen y Paolo por sus consejos, las risas y los momentos a lo largo de la carrera. A Juanpi por escucharme siempre, las salidas y el cariño.

A mis mascotas Mage, Tapis, Bonny y Tesa por su amor y hacer mi vida más feliz.

A los que estuvieron presentes en algún momento de mi vida, por las lecciones, aprendizajes, enseñanzas y alentarme a ser mejor persona.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
ANTECEDENTES	10
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS PARTICULARES	17
MATERIALES Y MÉTODOS	18
MUESTREO DE CILIADOS DE VIDA LIBRE	18
PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS	18
IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES	19
DESCRIPCIÓN DE LA GRANJA	19
ÁREA DE ESTUDIO	20
RESULTADOS	30
ESPECIES DE CILIADOS REGISTRADAS	30
DISCUSIÓN	110
CONCLUSIONES	123
REFERENCIAS	124
ANEXO 1	139
ANEXO 2	140

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1. Especies de ciliados parásitos identificados en granjas acuícolas de México.

TABLA 2. Especies de ciliados de vida libre identificados en esta tesis.

TABLA 3. Especies de ciliados de vida libre identificados en los estanques de la granja acuícola “El Danzante”.

FIGURA 1. Estanque de cuarentena de la granja acuícola “El Danzante”.

FIGURA 2. Aspecto de los estanques 1 al 5 de la granja acuícola “El Danzante”.

FIGURA 3. Esquema con las características compartidas por los estanques 1 al 5 de la granja acuícola “El Danzante”.

FIGURA 4. Sistema de aireación presentes en los estanques de la granja.

FIGURA 5. Esquema del funcionamiento del sistema de oxigenación con “Venturis”.

FIGURA 6. Estanque ocupado en su totalidad por lirio acuático.

FIGURA 7. Estanque de sedimentación uno, dos y estanque de mineralización.

FIGURA 8. Estanque de biofiltración.

FIGURA 9. Camas de acuaponía.

FIGURA 10. Cisterna de agua de la granja acuícola “El Danzante”.

FIGURA 11. Esquema general de la granja acuícola “El Danzante”.

FIGURA 12. *Aspidisca* sp.

FIGURA 13. *Blepharisma americanum*.

FIGURA 14. *Brachonella contorta*.

FIGURA 15. *Chilodonella uncinata*.

FIGURA 16. *Cinetochilum margaritaceum*.

FIGURA 17. *Coleps elongatus*.

FIGURA 18. *Coleps* sp.

FIGURA 19. *Cyclidium* sp.

FIGURA 20. *Didinium* sp.

FIGURA 21. *Euplotes aediculatus*.

FIGURA 22. *Euplotes eurystomus*.

FIGURA 23. *Euplotes* cf. *octocarinatus*.

FIGURA 24. *Frontonia* sp.

FIGURA 25. *Halteria* cf. *grandinella*.

FIGURA 26. *Monodinium* sp.

FIGURA 27. Oxytrichidae.

FIGURA 28. *Paramecium* cf. *caudatum*.

FIGURA 29. *Paramecium polycaryum*.

FIGURA 30. *Paramecium* sp.

FIGURA 31. Pleurostomatida.

FIGURA 32. *Pseudovorticella monilata*.

FIGURA 33. *Spirostomum minus*.

FIGURA 34. *Spirostomum teres*.

FIGURA 35. *Stentor coeruleus*.

FIGURA 36. *Stentor roeseli*.

FIGURA 37. Suctoria.

FIGURA 38. *Urocentrum turbo*.

FIGURA 39. *Vorticella campanula*.

FIGURA 40. *Vorticella convallaria*.

FIGURA 41. *Vorticella* cf. *microstoma*

RESUMEN

Los protozoos ciliados pertenecen al Phylum Ciliophora, se diferencian de los demás protozoos por presentar estructuras llamadas cilios, dos tipos de núcleos por microorganismo y reproducción por conjugación. Pueden encontrarse en cualquier parte del mundo donde haya cuerpos de agua o acumulación de esta, por lo que están presentes tanto en agua dulce como en agua marina. Son de gran importancia ecológica debido a que son de los principales organismos en la red trófica, así mismo, forman parte del bucle microbiano. Juegan un papel importante dentro de los sistemas de acuicultura, transfiriendo los nutrientes disponibles a niveles tróficos más altos y evitan la eutrofización dentro de los estanques. Pueden ser de vida libre o presentar relaciones simbióticas con diversos organismos, estos últimos, cuando se encuentran en los peces en grandes cantidades, pueden generar considerables pérdidas económicas a los productores. A pesar de lo anterior, en el país solo se ha realizado un trabajo relacionado con ciliados de vida libre en estanques de una granja acuícola, por el contrario, para ciliados simbiotes se han realizado diversos trabajos lográndose identificar 12 especies. El presente estudio, tiene como objetivo describir taxonómicamente las especies de ciliados presentes en los estanques de la granja acuícola “El Danzante” (RNPA: 20246856), ubicada en el estado de Oaxaca. Se realizaron cinco muestreos, durante los cuales se tomó una muestra de la columna de agua y raspado para cada uno de los estanques; en aquellos estanques que presentaban plantas acuáticas se tomó una pequeña porción de estas y se colocó en la muestra correspondiente. Para los ciliados simbiotes, se realizó un frotis de escamas y extracción de branquias de 32 tilapias. Las muestras obtenidas fueron observadas *in vivo*, con y sin colorantes vitales, así mismo, fueron procesadas para realizar técnicas de tinción con Hematoxilina de Harris y de impregnación con plata en “seco” de Klein. Se identificaron 20 especies de ciliados de vida libre, la mayoría de las cuales han sido registradas previamente en ambientes alfa-mesosaprobios y beta-mesosaprobios, coincidiendo con las condiciones presentes en la granja acuícola “El Danzante”. No se registró ninguna especie de ciliado simbiote. El presente estudio constituye el segundo trabajo sobre ciliados de vida libre en

granjas de tilapia en México, donde las especies *Blepharisma sinuosum*, *Euplotes aediculatus*, *E. octocarinatus*, *Brachonella contorta*, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella convallaria*, *V. microstoma* y *Pseudovorticella monilata* se registran por primera vez en estanques de producción de peces, mientras que las especies *Halteria* cf. *grandinella*, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella* cf. *microstoma* y *Pseudovorticella* cf. *monilata* se registran por primera vez para el estado de Oaxaca y *Coleps elongatus* se registra por primera vez en el país.

ABSTRACT

Ciliated protozoa belong to the Phylum Ciliophora, and are characterized by having locomotory structures called cilia, two types of nuclei per microorganism, and a genetic interchange through conjugation. Ciliates can be found worldwide associated with water bodies or almost every kind of water accumulation, colonizing both freshwater and marine environments. Ciliates have high ecological importance because they represent the primary organisms in the food web and are part of the microbial loop. For this reason, they play a significant role in aquaculture systems by transferring available nutrients to higher trophic levels while preventing eutrophication in the ponds. Ciliated protozoans can be free-living or have symbiotic relationships with diverse organisms. Those parasitic species can produce substantial economic losses for fish producers when they are present in high numbers. Despite this, in the country, only one study has been conducted regarding free-living ciliates in ponds of an aquaculture farm, conversely, various studies have been carried out on symbiotic ciliates, successfully identifying 12 species. The objective of this study is to generate a list of ciliate taxa inhabiting the ponds of the "El Danzante" aquaculture farm (RNPA: 20246856) located in the state of Oaxaca, providing their morphological characterization and discussing the relevance of the findings in the context of the Mexican biodiversity framework. Five samplings were carried out, obtaining samples from the water column and by scraping on the walls of each pond; a small portion of aquatic plants was included in the sample when these organisms were present inside the pond. Additionally, 32 tilapia squash slides of skin and gills were studied for symbiotic ciliates. The samples were observed *in vivo*, with and without vital stains, and were processed for staining techniques using Harris Hematoxylin and dry silver impregnation of Klein. Twenty species of free-living ciliates were identified. Most of them have been previously recorded for alpha-mesosaprobic and beta-mesosaprobic environments, which were the conditions recorded for the "El Danzante" aquaculture farm. No symbiotic ciliate species were recorded. This study represents the second research on free-living ciliates in tilapia farms in Mexico. The species *Blepharisma sinuosum*, *Euplotes aediculatus*, *E. octocarinatus*,

Brachonella contorta, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella convallaria*, *V. microstoma*, and *Pseudovorticella monilata* are recorded for the first time in fish production ponds, while *Halteria* cf. *grandinella*, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella* cf. *microstoma*, and *Pseudovorticella* cf. *monilata* are recorded for the first time in the state of Oaxaca, and *Coleps elongatus* is recorded for the first time for Mexico.

Introducción

Los protozoos ciliados pertenecen al Phylum Ciliophora, el cual presenta cerca de 8000 especies. Son microorganismos que se caracterizan e identifican rápidamente de los demás protozoos por tres atributos principales: (1) la presencia de estructuras llamadas cilios, los cuales están presentes en alguna de las etapas de su ciclo de vida; (2) tienen dimorfismo nuclear, es decir, tienen dos tipos de núcleos por microorganismo: macronúcleo y micronúcleo; y (3) se reproducen sexualmente por conjugación, durante este proceso dos ciliados complementarios intercambian productos de la meiosis, generados a partir del micronúcleo, posteriormente hay una regeneración nuclear (Miyake, 1974; Lynn, 2006; Aladro-Lubel *et al.*, 2009; Mayén-Estrada *et al.*, 2014).

Los cilios surgen a partir de estructuras llamadas cinetosomas, los cuales están organizados de manera longitudinal formando filas (cinétidas), que en conjunto con la película forman la capa cortical de los ciliados (Lynn, 2006; Mayén-Estrada *et al.*, 2014), estos pueden variar en tamaño y número, así como pueden estar presentes alrededor de toda la célula (cilios somáticos) o solo en el citostoma (cilios orales), dependiendo de la especie que se trate (Lynn, 2006; 2008). Por debajo de la película se encuentran los alvéolos corticales, estructuras que lucen como sacos membranosos aplanados los cuales brindan soporte a la membrana plasmática (Lee y Kugrens, 1992; Lynn, 2006).

Los ciliados poseen un dimorfismo nuclear donde el macronúcleo brinda ARN para el crecimiento vegetativo del ciliado, y el micronúcleo es la línea germinativa que, mediante la conjugación, las células intercambian micronúcleos haploides que posteriormente generarán al macronúcleo (Baroin-Tourancheau *et al.*, 1992; Prescott, 1994; Lynn, 2006).

Sistemática

El Phylum Ciliophora se ha considerado como un grupo monofilético desde 1991, sostenido por análisis multigenéticos, agrupándose en el clado Alveolata, debido

a la presencia de los alveolos en la capa cortical de los ciliados (Lynn, 2006; 2008). Está relacionado con los clados Stramenopiles y Rhizaria, formando en conjunto al supergrupo SAR (Burki *et al.*, 2007; Adl *et al.*, 2012; 2019). El phylum Ciliophora se divide en dos subphyla y 12 clases, las cuales difieren entre sí principalmente por la disposición de las cinétidas y en menor medida por su estructura oral, así como los patrones que presentan durante la división celular (Lynn, 2008; 2017).

Ecología

Los ciliados pueden encontrarse en cualquier parte del mundo donde haya cuerpos de agua o acumulación de éstos, por lo que están presentes tanto en agua dulce como en agua marina, así como en sus sedimentos (Lynn, 2006), pueden ser de vida libre o presentar relaciones simbióticas con diversos organismos acuáticos o terrestres (Mayén-Estrada *et al.*, 2021).

Poseen una gran importancia ecológica debido a que son de los principales organismos en la red trófica, se alimentan de bacterias, fitoplancton y pequeños flagelados para después ser ingeridos por otros organismos del zooplancton y éstos ser comidos por pequeños peces o larvas de otros animales (Lynn, 2006; Mayén-Estrada *et al.*, 2014). Así mismo, los ciliados forman parte del bucle microbiano, que consiste en que el fitoplancton transforma compuestos inorgánicos en orgánicos que van a ser ingeridos por bacterias, haciendo crecer sus poblaciones, que a su vez controladas por nanoflagelados y ciliados, estos últimos van a ser consumidos por copépodos y otros animales (Pomeroy *et al.*, 2007; Lynn, 2008; Graham *et al.*, 2014).

Diversidad

Aproximadamente 8000 especies de ciliados se han registrado en el mundo, de las cuales, cerca de 200 son fósiles, 2600 son simbiotes y el resto corresponde a especies de vida libre, lo que sugiere que entre el 83% y el 89% de las especies siguen sin ser descritas (Lynn, 2006; Foissner *et al.*, 2007).

Hasta el año 2020, la cantidad de especies de ciliados de vida libre y simbiotes

registradas en el territorio mexicano, aumentó de 959 a 1026 especies de ambientes dulceacuícolas, salobres y marinos (Mayén-Estrada *et al.*, 2014; 2020).

Sistemas de recirculación en el cultivo de tilapias

Las tilapias son un conjunto de peces africanos y de Medio Oriente que durante las últimas tres décadas han presentado una mayor productividad y comercialización a nivel internacional (Gupta y Acosta, 2004). Estos peces crecen rápido, tienen una amplia tolerancia a diferentes condiciones ambientales y son resistentes al estrés, entre otros aspectos, que los hacen ser organismos ideales para cultivo dentro de los sistemas de recirculación acuícola (SRA), siendo *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 o tilapia del Nilo la especie más cultivada a nivel mundial (El-Sayed, 2020).

Los SRA se caracterizan por mantener bajo control las condiciones de los peces y conservar una recirculación del agua que pasa a través de biofiltros, los cuales eliminan los desperdicios metabólicos generados por los peces, así como las partículas de alimento que no logran ser ingeridas, posteriormente, esta agua es devuelta a los tanques donde se encuentran los peces, por lo que entre el 90% y el 99% del agua es reutilizada (Ruiz *et al.*, 2019). Lo que se traduce en una disminución en el gasto de agua (Ornelas-Luna *et al.*, 2017).

Dentro de los principales desafíos que presentan los SRA se encuentran: mantener la calidad del agua y la eliminación de metabolitos como el amoníaco (NH_3) y el nitrito (NO_2^-), los cuales son excretados de manera constante por los peces mediante las branquias y la orina, así como, el alimento no consumido y las heces, las cuales generan descomposición microbiana (De la Mora, 2003).

La biofiltración o filtración biológica permite la eliminación del amoníaco y nitrito, este proceso lo llevan a cabo colonias de bacterias nitrificantes que se encargan de oxidar el amonio a nitrito y el nitrito es oxidado a nitrato. La estructura interna de los biofiltros puede ser de perlas, arena o un medio fijo que funciona como una superficie, en la cual, los consorcios de bacterias pueden permanecer adheridos y

crecer; también, las bacterias en suspensión han registrado éxito en la filtración de agua en cultivos de tilapia, sin embargo, presentan una distribución heterogénea, lo que pone en riesgo la calidad del agua (Schreier *et al.*, 2010; Rurangwa y Verdegem, 2014; Ruiz *et al.*, 2019).

El uso de plantas como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes* Solms, 1883) también es común como biofiltro dentro de los sistemas de recirculación, esta macrófita es capaz de remover y reducir compuestos de fosfato, nitrito y sólidos suspendidos en el agua mediante su sistema de raíces, además de funcionar como refugio para la comunidad planctónica, confiere ventajas a los cultivadores debido a su bajo costo y mantenimiento (Sipaúba-Tavares *et al.*, 2002; Mal *et al.*, 2015).

Importancia de los ciliados en granjas piscícolas

La tilapia es considerada una especie principalmente micrófaga, ya que se alimenta primordialmente de zooplancton, fitoplancton, perifiton y detritus, por lo que, es de suma importancia mantener una buena calidad del agua dentro de la producción, a fin de garantizar tanto un buen crecimiento como organismos saludables y buena calidad del producto (Boyd y Tucker, 1998; El-Sayed, 2020).

Uno de los principales problemas que afecta al cultivo de tilapia, es el exceso de nutrientes como fósforo y nitrógeno en los estanques, lo que puede generar el crecimiento masivo de microalgas y con ello eutrofización del agua, proceso en el cual las cantidades de oxígeno disuelto se reducen, generando decesos en las comunidades de peces (Chislock *et al.*, 2013; Rosset *et al.*, 2014; Vanacker *et al.*, 2016). Los ciliados son de gran importancia para evitar la eutrofización, ya que, además de controlar la biomasa de fitoplancton, son capaces de actuar rápidamente ante la presencia constante y excesiva de nutrientes, llegando a duplicar su población en pocas horas. Esto se debe a que los ciliados son la conexión entre la red microbiana y la red alimentaria clásica, lo cual les confiere la capacidad de transferir nutrientes a los niveles tróficos más altos, cuando estos se encuentran disponibles (Pitta *et al.*, 2009).

Los ciliados simbioses afectan a diversos organismos acuáticos y dentro de la acuicultura son relevantes, ya que, pueden generar diferentes afectaciones a los peces e incluso generarles la muerte (Valladão *et al.*, 2016). Las tilapias habían sido consideradas como organismos resistentes a las diferentes enfermedades en condiciones de cultivo, sin embargo, en la actualidad, son consideradas dentro de los animales con más susceptibilidad a enfermedades parasitarias. Una de las enfermedades más comunes dentro de los cultivos, es la tricodiniasis, provocada por ciliados pertenecientes a la familia Trichodinidae, sumado a esta están los géneros de ciliados *Chilodonella* sp., *Capriniana* sp., *Tetrahymena* sp., *Cryptocaryon* sp., *Ichthyophthirius* sp., *Ampibhrya* sp., *Epistylis* sp., *Heteropolaria* sp., *Riboscyphidia* sp., y *Apiosoma* sp., los cuales se han registrado provocando daños en branquias, piel y aletas en tilapias bajo cultivo (Reichenbach-Klinke, 1980; Hepher y Pruginin, 1991; Islas-Ortega *et al.*, 2020; Shinn *et al.*, 2023).

Antecedentes

Los ciliados de vida libre que habitan en estanques de granjas acuícolas han sido poco estudiados mundialmente. El primer trabajo que existe con el objetivo de registrar ciliados de vida libre en granjas acuícolas es el de Stoeck y colaboradores (2018), quienes trabajaron en una granja acuícola de Salmón (*Salmo* sp.) ubicada en Escocia, sin embargo, dicho estudio es únicamente molecular. Aunque existen trabajos relacionados con tilapia del Nilo y ciliados de vida libre en granjas acuícolas, corresponden a diseños experimentales en los que, en pequeños estanques, se recrean las condiciones de acuicultura con tecnología Biofloc y, posteriormente se analiza la presencia de microorganismos. En dichos estudios se ha registrado la presencia de los géneros *Paramecium* Müller, 1773 y *Tetrahymena* Keilin, 1921 (Azim y Little, 2008; Khanjani *et al.*, 2021; 2022; Aboseif *et al.*, 2022).

En cuanto a trabajos relacionados con la identificación de ciliados, en Brasil se han realizado tres trabajos sobre aquellos de vida libre y asociados a lirio acuático. En el primer trabajo, Sipaúba-Tavares y Días (2014), registraron al género *Vorticella* Linnaeus, 1758 en un depósito de suministro de agua poco profundo en una granja de acuicultura, el reservorio había sido utilizado anteriormente como un estanque de peces. En el segundo trabajo, Sipaúba-Tavares y colaboradores (2017) registraron diferentes miembros del zooplancton en un humedal artificial con lirio acuático en una granja de peces, para ambos trabajos no se menciona la especie del pez. En el tercer trabajo Sipaúba-Tavares y colaboradores (2019) registraron la presencia de fitoplancton y protozoos asociados a un tratamiento artificial con lirio acuático en una granja de crías de rana de la especie *Lithobates catesbeianus* Shaw, 1802 conocida como rana toro. Los ciliados registrados en el segundo trabajo corresponden a los géneros *Euplotes* Ehrenberg, 1830, *Paramecium* y *Vorticella*, ningún registro a nivel de especie. Por otra parte, para el tercer trabajo, el único género registrado fue *Paramecium*.

En México, se han realizado diversos estudios donde se han registrado géneros de ciliados relacionados con el cultivo de tilapia bajo diseños experimentales en

sistemas de tipo Biofloc, en los cuales las tilapias fueron alimentadas con dietas ricas en fuentes de carbono, como la melaza, salvado de arroz, salvado de trigo o residuos de café, que en conjunto con una alta oxigenación promueven la generación de flóculos bacterianos. Posteriormente, éstos fueron analizados en aspectos de abundancia y composición para conocer la variedad de microorganismos asociados a dichas agregaciones bacterianas (Monroy-Dosta *et al.*, 2013; Castro-Mejía *et al.*, 2017; Becerril-Cortés, 2018; Gallardo-Collí *et al.*, 2019). A pesar de que estos trabajos registran ciliados, no hay información disponible sobre estudios taxonómicos de dichos microorganismos, ya que, la identificación ha sido únicamente a nivel género. Nava-Sierra (2018), realizó el primer trabajo relacionado con la identificación a nivel género de protozoos asociados a peces bajo régimen de cultivo en México, el estudio realizado por Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) en una granja de traspatio en el estado de Oaxaca, México, es el segundo trabajo cuyo objetivo es identificar a los ciliados de vida libre y asociados habitantes de granjas acuícolas, y el primero en realizar un trabajo taxonómico para identificar a nivel de especie a estos ciliados.

Por otro lado, los ciliados asociados a tilapias en granjas acuícolas en México, han sido ampliamente estudiados en diversos trabajos taxonómicos, en los que, en la mayoría de los estudios se logra llegar a nivel de especie (Rodríguez-Santiago, 2002; Morales-Serna *et al.*, 2018; García-Magaña *et al.*, 2019; Islas-Ortega *et al.*, 2020; Rodríguez-Santiago *et al.*, 2021; Paredes-Trujillo *et al.*, 2022; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023). En México, los registros de ciliados asociados a tilapias hasta el momento, pertenecen a 11 géneros y 12 especies, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Debido a que, la diversidad de ciliados de vida libre que habitan en granjas acuícolas ha sido poco estudiada a nivel mundial y, que en el país hay pocos registros de dichos estudios, sumado a la importancia de los ciliados dentro de la acuicultura, ya sea dentro del bucle microbiano, la red trófica que beneficia a las tilapias o para conservar la buena calidad del agua, el presente trabajo busca describir las especies de ciliados que habitan en los estanques de una granja acuícola del municipio Cuilápam de Guerrero, en el estado de Oaxaca.

Tabla 1. Listado de las especies de ciliados asociados a *Oreochromis niloticus* en granjas acuícolas de México, registrados hasta el momento en la literatura.

Especie	Sitio de infección	Estado	Referencia
Chilodonellidae Deroux, 1970			
<i>Chilodonella</i> sp. Strand, 1928	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
Tetrahymenidae Corliss, 1952			
<i>Tetrahymena</i> sp. Keilin, 1921	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
Ichthyophthiriidae Corliss, 1952			
<i>Ichthyophthirius multifiliis</i> Fouquet, 1876	-	Sinaloa	Morales-Serna <i>et al.</i> (2018)
	Piel y branquias	Chiapas	Paredes-Trujillo <i>et al.</i> (2022)

<i>Ichthyophthirius</i> sp. Corliss, 1952	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
Epistylidae Kahl, 1935			
<i>Apisoma piscicola</i> Blanchard, 1885	-	Sinaloa	Morales-Serna <i>et al.</i> (2018)
	Piel, branquias y aletas	Chiapas	Paredes-Trujillo <i>et al.</i> (2022)
<i>Apiosoma</i> sp. Blanchard, 1885	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
Epistylidae Kahl, 1935			
<i>Epistylis</i> sp. Ehrenberg, 1830	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
<i>Heteropolaria</i> sp. Foissner y Schubert, 1977	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
Scyphidiidae Kahl, 1933			
<i>Ambiphrya miri</i> Raabe, 1952	-	Sinaloa	Morales-Serna <i>et al.</i> (2018)

<i>Ambiphrya</i> sp. Raabe, 1952	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
Trichodinidae Claus, 1951			
<i>Paratrichodina africana</i> Kazubski y El-Tantawy, 1986	Branquias	Michoacán	Islas-Ortega <i>et al.</i> (2020)
<i>Trichodina centrostrigeata</i> Basson, van As y Paperna 1983	Piel y aletas	Sinaloa	Rodríguez-Santiago (2002)
	-	Sinaloa	Morales-Serna <i>et al.</i> (2018)
	Piel y branquias	Tabasco	García-Magaña <i>et al.</i> (2019)
	Branquias	Michoacán	Islas-Ortega <i>et al.</i> (2020)
	Piel	Sinaloa	Rodríguez-Santiago <i>et al.</i> (2021)
	Branquias	Oaxaca	Rivas-Beltrán <i>et al.</i> (2023)
<i>Trichodina compacta</i> Basson y van As, 1989	Piel y branquias	Tabasco	García-Magaña <i>et al.</i> (2019)

	Branquias	Michoacán	Islas-Ortega <i>et al.</i> (2020)
	Piel, branquias y aletas	Chiapas	Paredes-Trujillo <i>et al.</i> (2022)
<i>Trichodina hypsilepis</i> Wellborn, 1967 (antes <i>Trichodina heterodentata</i>)	Piel	Sinaloa	Rodríguez-Santiago <i>et al.</i> (2021)
<i>Trichodina magna</i> Basson y van As, 1989	Piel y aletas		Rodríguez-Santiago (2002)
	-	Sinaloa	Morales-Serna <i>et al.</i> (2018)
	Piel		Rodríguez-Santiago <i>et al.</i> (2021)
<i>Trichodina nigra</i> Lom, 1961	Piel y aletas	Sinaloa	Rodríguez-Santiago (2002)
	-	Sinaloa	Morales-Serna <i>et al.</i> (2018)
	Piel y branquias	Tabasco	García-Magaña <i>et al.</i> (2019)
	Piel	Sinaloa	Rodríguez-Santiago <i>et al.</i> (2021)

<i>Trichodina pediculus</i> Ehrenberg, 1831	Piel y aletas	Sinaloa	Rodríguez-Santiago (2002)
	-	Sinaloa	Morales-Serna <i>et al.</i> (2018)
	Piel y branquias	Tabasco	García-Magaña <i>et al.</i> (2019)
<i>Trichodina</i> sp. Ehrenberg, 1831	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
<i>Trichodinella epizootica</i> Raabe, 1950	Branquias	Michoacán	Islas-Ortega <i>et al.</i> (2020)
<i>Trichodinella</i> sp. Srámek-Husek, 1953	-	Puebla	Nava-Sierra (2018)
<i>Tripartiella orthodens</i> Basson y van As, 1987	Branquias	Michoacán	Islas-Ortega <i>et al.</i> (2020)

Objetivos

Objetivo general

Describir taxonómicamente las especies de protozoos ciliados presentes en los estanques de la granja acuícola “El Danzante” (RNPA: 20246856) ubicada en el estado de Oaxaca.

Objetivos particulares

- Ilustrar la morfología general y los principales caracteres diagnósticos de los organismos descritos, presentes en los estanques de la granja acuícola “El Danzante” (RNPA: 20246856).
- Elaborar un listado taxonómico de las especies de protozoos ciliados presentes en los estanques de la granja acuícola “El Danzante” (RNPA: 20246856).
- Aportar nuevos registros de ciliados para una zona del país no estudiada previamente para tal efecto.

Materiales y método

Muestreo de ciliados de vida libre

En cada una de las cinco visitas a la granja acuícola “El Danzante” se realizaron dos muestreos por estanque de producción de tilapias, uno de la columna de agua y otro del raspado de las paredes del estanque. En aquellos estanques donde no había producción de tilapias, solo se tomó una muestra de la columna de agua y, en esa misma muestra, se colocó el raspado de la pared del estanque; en los casos donde había plantas acuáticas se tomó una muestra de éstas. Para ambos casos, cada muestra se colocó en frascos de boca ancha con tapa, debidamente etiquetados. El total de muestras obtenidas por todos los muestreos sumó 25 frascos.

Muestreo de ciliados asociados a tilapias

Se compraron 5 tilapias frescas y sin eviscerar en cada visita a la granja. La revisión de las tilapias consistió en realizar un frotis de escamas con un portaobjetos, a fin de obtener mucus del cuerpo y se extrajeron ambos arcos branquiales. Tanto el frotis como los filamentos branquiales, se observaron bajo el microscopio óptico de campo claro con los objetivos 10x y 40x, para verificar la presencia de ciliados simbiotes. Una vez revisadas las tilapias, se procedió a congelarlas para su posterior consumo.

Procesamiento de las muestras

Una vez obtenidas las muestras, se transportaron al Laboratorio de Biodiversidad de la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca y/o al Laboratorio de Zoología Acuática de la Facultad de Ciencias, UNAM, donde se revisaron las muestras mediante preparaciones *in vivo* con microscopia de campo claro. Durante la observación, se realizaron tomas de microfotografías, así como preparaciones con colorantes vitales.

Algunas muestras se fijaron en portaobjetos con albúmina, formol al 2%, al 5% o con Bouin según fuera el caso, para realizar posteriormente técnicas de tinción con Hematoxilina de Harris (Harris, 1900) (Anexo 1) y la técnica de impregnación con plata en “seco” de Klein (Klein, 1958) (Anexo 2).

Identificación de las especies

Se observaron las características y estructuras de importancia taxonómica para cada una de las especies, como macro y micronúcleo, vacuolas, disposición de cilios y cirros, así como el tamaño y la forma de la célula, esto, mediante las observaciones *in vivo*, las microfotografías recabadas y las técnicas realizadas durante el procesamiento de las muestras. Los datos obtenidos se compararon con la literatura especializada disponible en Google Scholar, Elsevier, Research Gate, Science Direct, Redalyc, JSTOR, MDPI, SciELO y TESIUNAM.

Descripción de la granja

Durante las visitas se realizó una descripción escrita del lugar y un registro fotográfico, así mismo, se entabló diálogo con el personal del lugar para conocer el origen, funcionamiento y manejo de la granja acuícola.

Área de estudio

La granja acuícola “El Danzante” (RNPA: 20246856), ubicada en Privada de la Rivera 1, 71404 Municipio Cuilápam de Guerrero, Oaxaca (16.981535, 96.774043) se dedica a la venta y crianza de tilapias, además de ser un sitio donde se busca la sustentabilidad debido al proceso y cuidado con el que se realiza el cultivo de tilapias, también, cuenta con doble certificación: en Inocuidad y en Sanidad, ambas otorgadas por la SENASICA.

La granja cuenta con un total de once estanques, cinco camas de acuaponía y una cisterna con capacidad de 500 mil litros de agua. El funcionamiento de la granja comienza con la llegada de las tilapias, las cuales son colocadas en un pequeño estanque llamado “Tanque de Cuarentena” (Figura 1), de una capacidad de 7 mil litros de agua, donde se colocan las tilapias recién llegadas. Estas son monitoreadas durante quince días y se observa su forma de nadar y comportamiento en general para descartar que los organismos presenten alguna enfermedad o infección que pueda poner en riesgo a las demás tilapias en crecimiento. Una vez que los organismos son calificados como óptimos en salud, son trasladados a los estanques en donde se van a desarrollar y pasarán el resto de su vida hasta aproximadamente los siete meses.



Fig. 1. Estanque de Cuarentena de la granja acuícola “El Danzante”.

Los estanques siguientes presentan una numeración del 1 al 5 y muestran características compartidas, donde cada estanque mide ocho metros de diámetro,

1.40 metros de profundidad al centro, 1.10 metros de profundidad en las orillas y tienen una capacidad de 53 mil litros de agua (Figs. 2 y 3). Cada uno de los estanques cuenta con una conexión individual y directa con el pozo, por medio de tuberías subterráneas y llaves de paso. Así mismo, dichos estanques poseen, en la parte central y profunda, una apertura que se controla mediante una llave de paso, que funciona como drenaje debido a que el agua se envía al tanque de sedimentación y también se utiliza para la eliminación de sólidos y sedimentos que son descargados en la fosa de oxidación (Fig. 11). Igualmente, el agua de los estanques puede pasar únicamente de un tanque a otro mediante la activación de bombas de agua y llaves de paso, por lo que los estanques no cuentan con una conexión entre ellos para evitar la posible contaminación de un tanque a otro. También, cada uno de estos estanques cuenta con un sistema de oxigenación llamado “Blower”, este sistema presenta tres llaves, cada una de estas tiene un disco con microperforaciones (disco difusor) los cuales se encuentran sumergidos en cada estanque (Fig. 4).

Por último, los estanques presentan en la orilla interna un aro que corresponde al sistema de oxigenación con “Venturis”, este sistema consiste en la aceleración del flujo del agua después de que ésta haya sufrido un cambio en la presión al pasar por un conducto más estrecho. El sistema de oxigenación por “Venturis” de la granja presenta cuatro conexiones distribuidas alrededor del estanque y entran en funcionamiento cuando la oxigenación brindada por el sistema de aireación es insuficiente debido a la biomasa de los peces. Este sistema funciona mediante la bomba de agua con la que se hace el recambio de agua de un tanque a otro y mediante tubos de PVC que hacen una figura irregular con tres aperturas, una de las cuales queda expuesta a la superficie, otra se conecta al aro y la abertura restante queda por debajo del agua, en esta última apertura el conducto se vuelve más estrecho en el extremo (Figura 5A), entonces, la bomba inyecta agua del mismo tanque al aro y el tubo expuesto a la superficie, al tener contacto con el aire, genera un efecto de succión, éstos en conjunto con la disminución de diámetro del tubo sumergido genera que el agua salga con más presión y genere el movimiento del agua debido a su continua reinyección, provocando oxigenación en el estanque debido al movimiento que se provoca (Fig. 5B).



Fig. 2. Aspecto de los estanques 1 al 5 de la granja acuícola “El Danzante”.

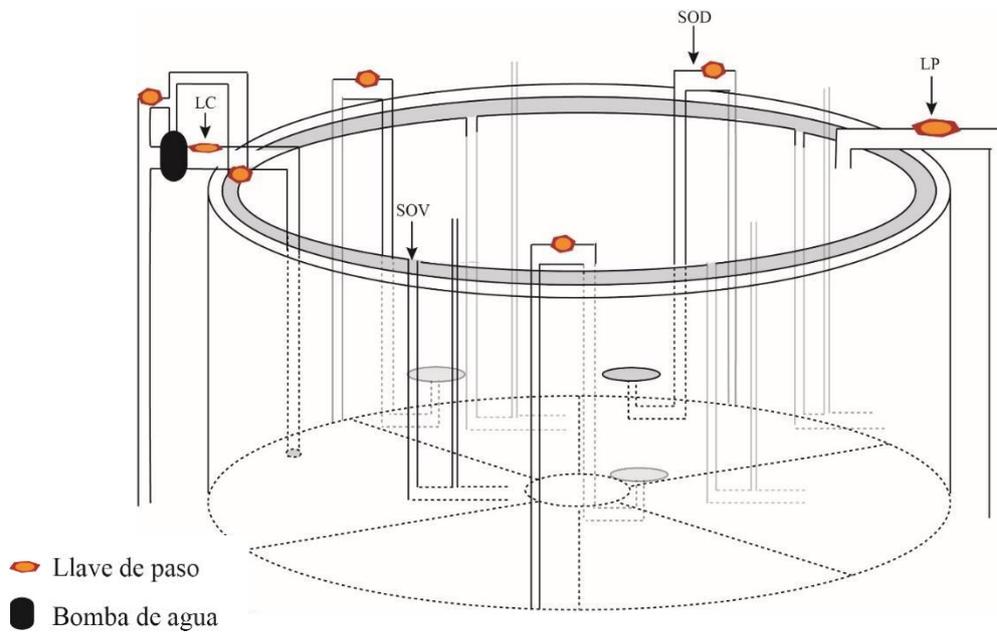


Fig. 3. Esquema con las características compartidas por los estanques 1 al 5 de la granja acuícola “El Danzante”. Abreviaturas: LC- llave de la cisterna, LP- llave del pozo, SOD- sistema de oxigenación por discos, SOV- sistema de oxigenación por “Venturis”.



Fig. 4. Sistema de aireación con discos microperforados presentes en los estanques de la granja.

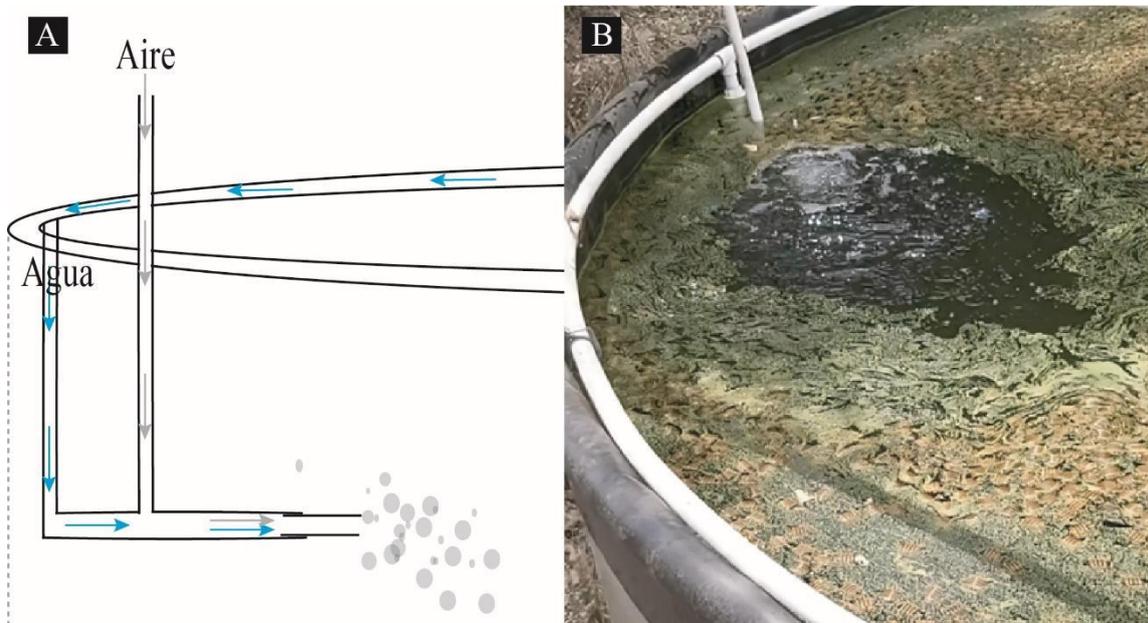


Fig. 5. Esquema del funcionamiento del sistema de oxigenación con “Venturis” (A).
Movimiento del agua generado por sistema de oxigenación con “Venturis” (B).

De los estanques 1 al 5, los estanques uno, tres y cinco son específicos para llevar a cabo la engorda de los peces donde se colocan alrededor de 1200 tilapias de tres semanas de edad por tanque. Durante aproximadamente ocho meses, las tilapias se mantienen en los estanques de engorda, estos cuentan con un sistema de aireación que se activa durante las noches para reducir la competencia por oxígeno entre las microalgas y las tilapias, además, es necesario realizar recambios de agua para evitar la acumulación de residuos debido a que estos pueden ser tóxicos para los organismos. El recambio en los primeros meses de engorda de las tilapias, es entre el 20% y 30% del total del agua, en los meses siguientes el recambio aumenta a un 50% del total y, durante el último par de meses, el recambio es de entre 70% y 80% del volumen del agua, por lo que, durante cada recambio de agua, ésta se vuelve a nivelar con agua del pozo o proveniente de la cisterna. El agua de recambio que se retira, cuenta con las siguientes alternativas: 1) puede ser redirigida mediante bombas de agua a los estanques restantes dos y cuatro, los cuales se encuentran ocupados en su totalidad por lirio acuático (Fig. 6), para que esta planta, por medio de sus raíces, lleva a cabo un proceso de limpieza del agua, o 2) el agua se redirige de manera directa a los estanques de sedimentación, después a las camas de acuaponía y finalmente llega a la cisterna, donde puede enviarse a cualquier estanque que la necesite (Fig. 11).



Fig. 6. Estanque dos ocupado en su totalidad por lirio acuático.

Cuando el agua se redirige a los estanques dos y cuatro, ésta puede continuar su camino hacia el Estanque de Sedimentación, el cual es un solo estanque dividido en tres partes, donde en el “Estanque de Sedimentación 1” (Fig. 7A), las partículas que pudieran encontrarse flotando en el agua, comienza a sedimentarse para que posteriormente, con ayuda de llaves de paso, el agua pase al “Estanque de Sedimentación 2” (Fig. 7B), repitiendo el proceso de sedimentación y después, el agua se envía al tercer tanque, llamado “Estanque de Mineralización” (Fig. 7C) en el cual el amonio proveniente de los desechos orgánicos es transformado a nitrito, debido a la sedimentación previa, por la acción del aire, bacterias presentes en el tanque de mineralización y la presencia de la planta llamada comúnmente lenteja de agua (*Lemna minor* Griff, 1851), la cual también posee propiedades de limpieza de agua (Arroyave, 2004), además, es utilizada como alimento para las tilapias.

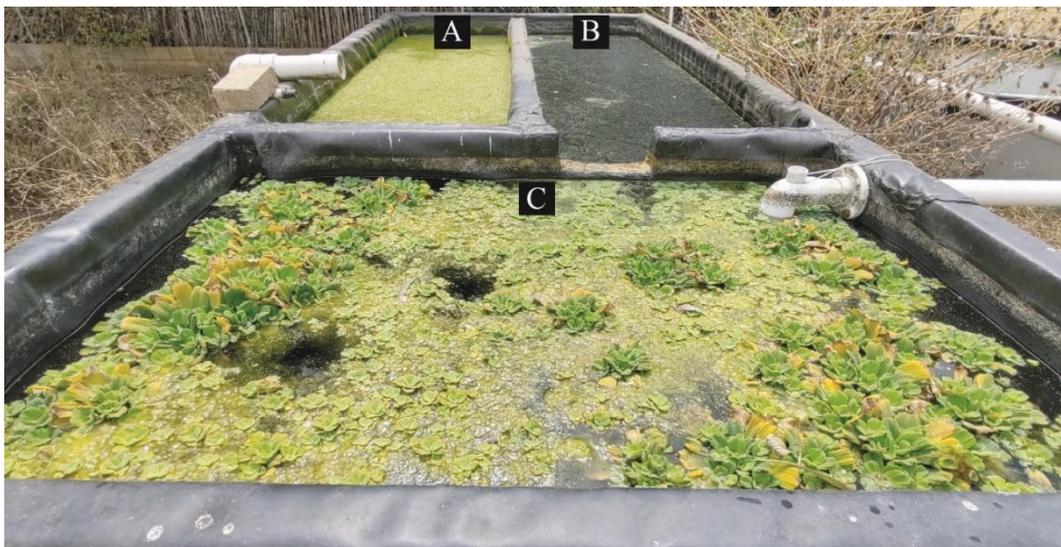


Fig. 7. (A-C) Estanque de sedimentación dividido en tres secciones. Estanque de sedimentación 1 (A), Estanque de sedimentación 2 (B) y Estanque de mineralización (C).

Después de estar en el estanque de mineralización, el agua pasa mediante tubería y llaves de paso al “Estanque de Biofiltración” (Fig. 8A), este tanque también cuenta con un disco difusor que, durante las noches, oxigena el agua permitiendo que los restos tóxicos que aún estén presentes en el agua sean eliminados por medio de bacterias nitrificantes. Las bacterias utilizadas para llevar a cabo la transformación de nitritos a nitratos pertenecen a los géneros *Nitrosomas* Winogradsky, 1892 y *Nitrobacter* Winogradsky, 1892, las cuales crecen en pequeños pedazos de

manguera añadidos manualmente que les sirven como refugio y les permiten continuar con su crecimiento (Fig. 8B). Al igual que con los estanques 1 al 5, los estanques de sedimentación 1 y 2, de mineralización y de biofiltración presentan salidas de drenaje en la parte inferior, controladas por válvulas para la eliminación de sólidos y sedimentos que son descargados en la fosa de oxidación.

Posteriormente, el agua es enviada y repartida en cinco camas de acuaponía a las que se les coloca lirio acuático para que se realice una última filtración del agua (Fig. 9), dichas plantas crecen sin problema alguno debido a que el agua que proviene del “Estanque de Biofiltración”, contiene los nutrientes suficientes y necesarios para su crecimiento. Finalmente, el agua es dirigida a la cisterna de la granja (Fig. 10), en este punto el agua puede redirigirse a: 1) los estanques de engorda o cualquier otro que la necesite mediante tubería subterránea, bombas de agua y llaves de paso y la recirculación del agua vuelve a comenzar o 2) puede ser ocupada como agua para riego en los cultivos del huerto, el cual se encuentra a pocos metros de distancia de la granja (Fig. 11).



Fig. 8. Estanque de biofiltración (A) con trozos de manguera que sirven como refugio a las bacterias nitrificantes (B).



Fig. 9. Cinco camas de acuaponía con lirio acuático.



Fig. 10. Cisterna de agua de la granja acuícola “El Danzante”.

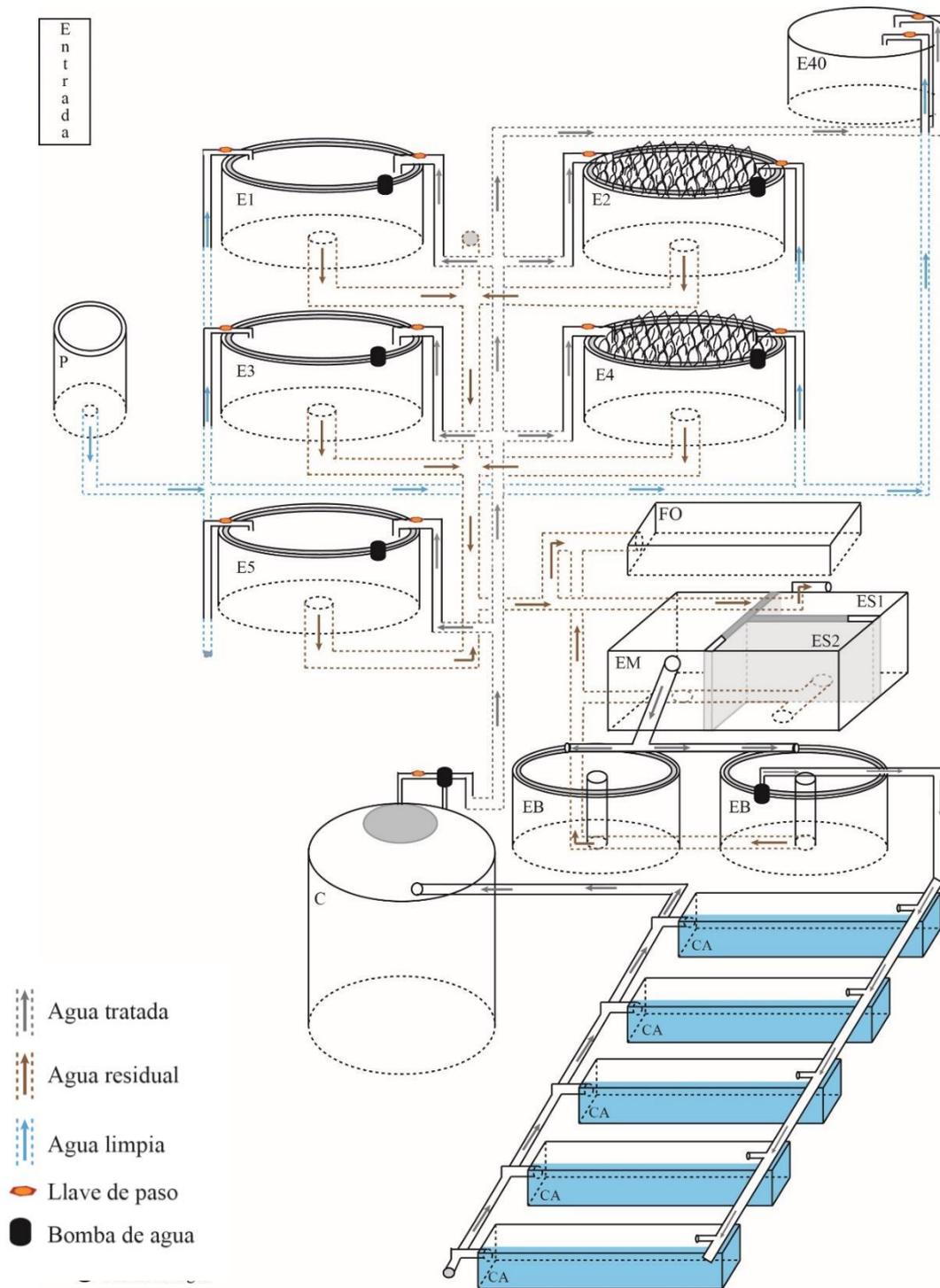


Fig. 11. Esquema general de la granja acuícola “El Danzante”. Abreviaturas: C- cisterna, CA- cama acuaponía, E40- estanque cuarentena, E1- estanque 1, E2- estanque 2, E3- estanque 3, E4- estanque 4, E5- estanque 5, EB- estanque biofiltración, EM- estanque mineralización, ES1- estanque sedimentación 1, ES2- estanque sedimentación 2, FO- fosa de oxidación, P-pozo.

El diseño y funcionamiento de las instalaciones da como resultado que el desperdicio de agua corresponda al 30%, donde únicamente se repone el agua que se pierde por evaporación, por el proceso de limpieza de los tanques y la utilizada como agua para riego en el huerto. Este conjunto de acciones, es decir, el procedimiento seguido durante toda la producción, la gran cantidad de agua ahorrada o redirigida, según se necesite, así como la no utilización de ningún tipo de químicos durante la crianza de las tilapias ni durante el crecimiento de las plántulas en el huerto es que la granja acuícola “El Danzante” busca la certificación en sustentabilidad.

Por último, una vez que los peces han completado el tiempo en los tanques de engorda, estos son vendidos a los pobladores de la localidad y personas externas para que sean consumidos, o en nuestro caso, revisados con fines científicos.

Resultados

Tras la revisión de las muestras recolectadas, en la granja El Danzante se identificaron 30 taxones nominales de ciliados de vida libre (Tabla 2), de los cuales 20 fueron registrados a nivel de especie, siete a nivel de género, uno a nivel de familia, uno a nivel orden y uno a nivel de subclase. De estos, 29 taxones han sido previamente registrados en cuerpos de agua dulce en algunas localidades de México, una especie se presenta como nuevo registro para el país y cuatro nuevos registros para el estado de Oaxaca. No se encontró ninguna especie de ciliado asociado a las tilapias.

Tabla 2. Listado potencial de ciliados de vida libre identificados durante los muestreos realizados en la presente tesis. Para el ordenamiento taxonómico de los registros se siguió la clasificación propuesta por Lynn (2008).

Phylum Ciliophora Doflein, 1901

Subphylum Postciliodesmatophora Gerassimova & Seravin, 1976

Clase Heterotrichea Stein, 1859

Orden Heterotrichida Stein, 1859

Familia Blepharismidae Jankowski en Small & Lynn 1985

Género *Blepharisma* Perty, 1852

Blepharisma americanum Suzuki, 1954

Familia Spirostomidae Stein, 1867

Género *Spirostomum* Ehrenberg, 1834

Spirostomum minus Roux, 1901

Spirostomum teres Claparède & Lachmann, 1858

Género *Stentor* Oken, 1815

Stentor coeruleus (Pallas, 1766) Ehrenberg, 1831

Stentor roeselii Roux, 1901

Subphylum Intramacronucleata Lynn, 1996

Clase Spirotrichea Bütschli, 1889

Subclase Hypotrichia Stein, 1859

Orden Euplotida Small & Lynn, 1985

Suborden Euplotina Small & Lynn, 1985

Familia Aspidiscidae Ehrenberg, 1830

Género *Aspidisca* Ehrenberg, 1830

Aspidisca sp.

Familia Euplotidae Ehrenberg, 1838

Género *Euplotes* Ehrenberg, 1830

Euplotes aediculatus (Pierson, 1943) Borror & Hill, 1995

Euplotes eurystomus (Wrzesniowski, 1870) Borror & Hill, 1995

Euplotes cf. *octocarinatus* Carter, 1972) Borror & Hill, 1995

Subclase Stichotrichia Small & Lynn, 1985

Orden Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961

Familia Halteriidae Claparède & Lachmann, 1859

Género *Halteria* Dujardin, 1841

Halteria cf. *grandinella*** (Müller, 1773) Dujardin, 1841

Familia Oxytrichidae. gen. sp. Ehrenberg, 1830

Clase Litostomatea Small & Lynn, 1981

Subclase Haptoria Corliss, 1974

Orden Pleurostomatida Schewiakoff, 1896

Clase Armophorea Lynn, 2004

Orden Armophorida Jankowski, 1964

Familia Metopidae Kahl, 1927

Género *Brachonella* Jankowski, 1964

Brachonella contorta (Levander, 1894) Jankowski, 1964

Clase Litostomatea Small & Lynn, 1981

Subclase Haptoria Corliss, 1974

Orden Haptorida Corliss, 1974

Familia Didiniidae Poche, 1913

Género *Didinium* Stein, 1859

Didinium sp.

Género *Monodinium* Fabre-Domergue, 1888

Monodinium sp.

Clase Phyllopharyngea de Puytorac et al., 1974

Subclase Cyrtophoria Fauré-Fremiet en Corliss, 1956

Orden Chlamyodontida Deroux, 1970

Familia Chilodonellidae Deroux, 1970

Género *Chilodonella* Strand, 1928

Chilodonella uncinata (Ehrenberg, 1838) Strand, 1928

Subclase Suctoria Claparède & Lachmann, 1858

Clase Prostomatea Schewiakoff, 1896

Orden Prorodontida Corliss, 1974

Familia Colepidae Ehrenberg, 1838

Género *Coleps* Nitzsch, 1827

*Coleps elongatus** (Ehrenberg, 1830) Kahl, 1930

Coleps sp.

Clase Oligohymenophorea de Puytorac et al., 1974

Subclase Peniculia Fauré-Fremiet en Corliss, 1956

Orden Peniculida Fauré-Fremiet in Corliss, 1956

Familia Frontoniidae Kahl, 1926

Género *Frontonia* Ehrenberg, 1838

Frontonia sp.

Familia Parameciidae Dujardin, 1840

Género *Paramecium* Müller, 1773

Paramecium cf. *caudatum* Ehrenberg, 1838

*Paramecium polycarum*** Woodruff, 1923

Paramecium sp.

Orden Urocentrida Jankowski, 1980

Familia Urocentridae Claparède & Lachmann, 1858

Género *Urocentrum* Nitzsch, 1827

Urocentrum turbo (Müller, 1786) Nitzsch, 1827

Subclase Scuticociliatia Small, 1967

Orden Philasterida Small, 1967

Familia Cinetochilidae Perty, 1852

Género *Cinetochilum* Perty, 1849

Cinetochilum margaritaceum (Ehrenberg, 1831) Perty, 1849

Orden Pleuronematida Fauré-Fremiet in Corliss, 1956

Familia Cyclidiidae Ehrenberg, 1838

Género *Cyclidium* Müller, 1773

Cyclidium sp.

Subclase Peritrichia Stein, 1859

Orden Sessilida Kahl, 1933

Familia Vorticellidae Ehrenberg, 1838

Género *Vorticella* Linnaeus, 1758

Vorticella campanulla Ehrenberg, 1831

Vorticella convallaria Linnaeus, 1758

Vorticella cf. *microstoma*** Ehrenberg, 1830

Género *Pseudovorticella* Foissner & Schiffmann, 1975

Pseudovorticella cf. *monilata*** Tatem, 1870

* Registro nuevo para el país

** Registro nuevo para Oaxaca

A continuación, se presentan las descripciones morfológicas de cada una de las especies encontradas, así como referencias fotográficas en las que se muestran detalles de su morfología general y caracteres diagnósticos.

***Aspidisca* sp.**

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 33.2 μm largo x 26.6 μm de ancho. El cuerpo es ovalado, dorsalmente convexo y ventralmente aplanado (Figura 12. A). En la parte ventral se encuentran distribuidos los cirros y la apertura oral, esta última formada por una zona adoral de membranelas que generan una ligera depresión y una forma triangular (Figura 12. B), mientras que en la parte dorsal presenta cuatro crestas longitudinales (Figura 12. C).

Comentarios taxonómicos:

El género *Aspidisca* está compuesto por más de 50 especies que en su mayoría presentan un cuerpo plano, ovalado y rígido, la zona adoral de membranelas está separada en dos partes, la región dorsal es convexa y la región ventral es aplanada (Zheng *et al.*, 2022). La superficie dorsal se encuentra dividida por crestas longitudinales, mientras que en la superficie ventral se encuentran los cirros frontoventrales y transversales, la apertura oral se ubica en el borde izquierdo de la parte media en la región ventral y el citostoma genera una forma triangular cubierta por una zona adoral de membranelas (ZAM) con el labio peristomal a la derecha del citostoma (Plough, 1916; Rosati *et al.*, 1987). A pesar de que los individuos encontrados presentaron muchos de los caracteres mencionados como la forma del cuerpo, las crestas dorsales, los cirros en la superficie ventral y la forma del citostoma, Plough (1916) al igual que Wu y Curds (1979) mencionan que el número de cirros y su posición, al igual que el tipo de argiroma dorsal que presente el ciliado son caracteres importantes para la determinación de la especie. Debido a la falta de individuos en las muestras, así como de preparaciones, no fue posible realizar la identificación a nivel de especie.

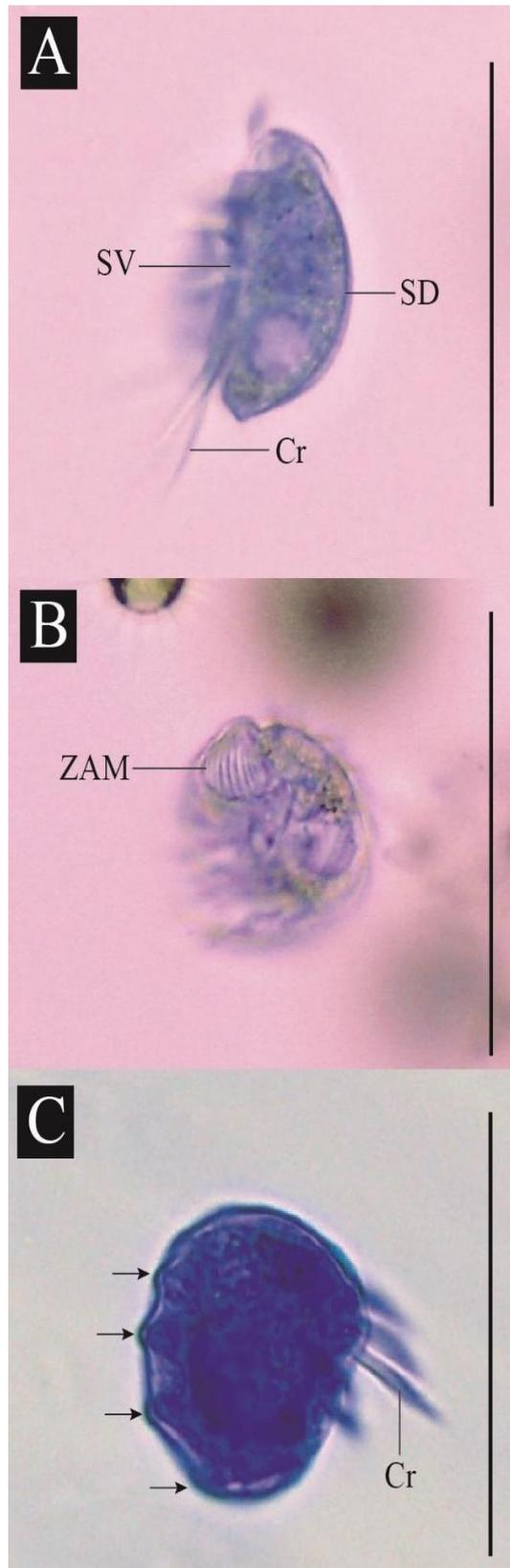


Figura 12. *Aspidisca* sp. (A) Vista lateral de un individuo teñido con colorante cristal violeta. (B) Apertura oral del individuo. (C) Vista apical de un individuo teñido con colorante cristal violeta, las flechas indican las cuatro crestas dorsales prominentes. Abreviaturas: **Cr**- cirros, **SD**- superficie dorsal, **SV**- superficie ventral **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 50 μ m.

Blepharisma americanum

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 201.74 μm de largo x 39.71 μm de ancho. Ciliado alargado de color rosa, su peristoma ocupa aproximadamente el 50% del tamaño total del organismo y a un costado se puede ver la zona adoral de membranelas con terminación curvada (Figura 13. A, B). Las cinetias somáticas son muy evidentes, mientras que la membrana ondulante en el citostoma solo es visible con objetivos mayores a 10x (Figura 13. A, C). Cuenta con una vacuola contráctil que es muy visible en el extremo inferior y a lo largo de todo el cuerpo presenta varias vacuolas alimenticias (Figura 13. B, C). Presenta un macronúcleo de tipo moniliforme compuesto por seis nódulos (Figura 13. D).

Comentarios taxonómicos:

De acuerdo con Bhandary (1962), Aescht y Foissner (1998) y Wancura *et al.* (2018) dentro de las características principales para *Blepharisma americanum* es que tiene un tamaño entre 115-220 μm , presenta un peristoma que ocupa la mitad del largo del cuerpo, una membrana ondulante muy evidente, una pigmentación rosa y el macronúcleo es de tipo moniliforme con 3 a 7 nódulos de tamaño desigual conectadas entre sí mediante hilos delgados y múltiples micronúcleos, coincidiendo con lo encontrado y descrito para el ciliado identificado a pesar de que los micronúcleos no fueron observados, sin embargo, Wancura y colaboradores (2018) difieren en el número de nódulos presentes en el macronúcleo y mencionan que puede presentar entre 3 y 6 nódulos. Por otro lado, Küppers y colaboradores (2009) mencionan que el tamaño puede ir de los 182 μm hasta las 280 μm de largo y entre 42 μm a 84 μm de ancho, así como presentar un macronúcleo compuesto hasta por 15 nódulos. A pesar de que el ancho de los ciliados identificados no logra entrar dentro del intervalo proporcionado por Küppers y colaboradores (2009), es cercano al tamaño mínimo dado.

Fernandes *et al.* (2013) indicaban que *Blepharisma americanum* era sinónimo de *B. sinuosum*, debido a que en las pocas referencias que se tenían de *B. sinuosum* (Sawaya, 1940; Kattar, 1965) su descripción morfológica coincidía con la de *B.*

americanum. Posteriormente, mediante datos moleculares se determinó que *Blepharisma sinuosum* es una especie con distribución única en Brasil (Fernandes *et al.*, 2016; Cavaleiro *et al.*, 2018).

Blepharisma americanum ya ha sido registrada en México, en la Ciudad de México (Luna-Pabello, 1993; Luna-Pabello *et al.*, 1994, 1996 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006) en un reactor de biodiscos así como en una planta de tratamiento de agua; y bajo el nombre de *B. sinuosum* en el Lago de Analco, Oaxaca y en el Lago Tzisco, Chiapas (Méndez-Sánchez, 2017). Los organismos de esta tesis son de mayor longitud y de un tamaño muy cercano al ancho propuesto por Luna-Pabello (1993), así mismo, la longitud de los organismos registrados en este trabajo es mayor, mientras que la anchura es menor en comparación con lo registrado por Méndez-Sánchez (2017). A pesar de las diferencias en tamaño, los individuos de esta población coinciden con las características de ambas poblaciones.

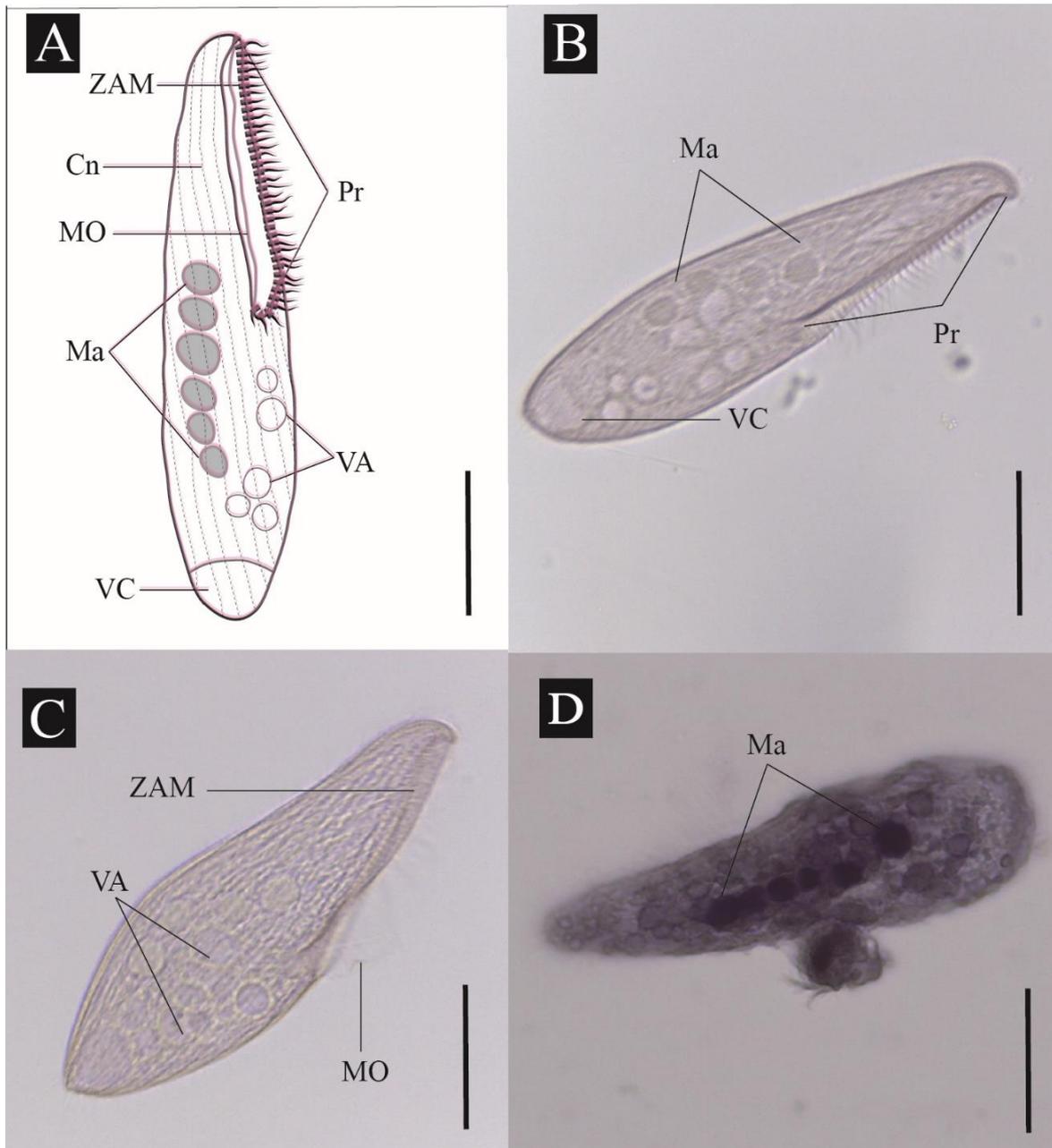


Figura 13. *Blepharisma americanum*. (A) Representación esquemática de la vista lateral derecha. (B-C) Vista lateral derecha de un individuo observado *in vivo* con una coloración rosa muy evidente. (D) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **Cn**- cinetias, **Ma**- macronúcleo, **MO**- membrana ondulante, **Pr**- peristoma, **VA**- vacuola alimenticia, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 50 μ m.

Brachonella contorta

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 91.87 μm de largo x 61.7 μm de ancho. El cuerpo es ovalado, cubierto por cilios y un mechón de cilios caudales en la parte inferior, también, en la parte superior presenta una masa oscura muy evidente compuesta por gránulos refractivos (Figura 14), con una vacuola contráctil en la parte post oral (Figura 14. B, D). La zona adoral hace un giro en espiral de 360° que comienza en la parte anterior y termina en la parte posterior, cerca de la vacuola contráctil (Figura 14. A, B, D, F). Por arriba de la zona adoral de membrana resaltan cinco cinetias muy cercanas entre sí que conforman la franja ciliar perizonal (Figura 14. B, D), y por arriba de éstas se pueden diferenciar las cinetias del domo preoral (Figura 14. B, D, E, F). El margen proximal de la cavidad bucal luce como una pequeña muesca en la parte inferior del organismo (Figura 14. A, C), mientras que en la región superior, cercano a la masa oscura, se ubica el macronúcleo con forma globular (Figura 14. B, D, E) y próximo se ubica el micronúcleo (Figura 14. B).

Comentarios taxonómicos:

La morfología de los organismos observados coincidió con lo mencionado por Bourland y colaboradores (2016), así como por Omar y Jung (2022) donde algunas de las características principales para *Brachonella contorta* son que puede medir hasta 100 μm de longitud x 60 μm de amplitud, la forma del cuerpo fue similar al de una bala donde la parte anterior es similar a una cúpula y la parte inferior es corta y truncada, el domo preoral presentó varias cinetias somáticas con gránulos corticales entre éstas, también, en la parte anterior presentó un agregado de gránulos que pueden ser amarillentos o de color café. En el caso de los individuos de esta población los gránulos presentaron siempre un color oscuro, el citostoma se ubica en la parte posterior del cuerpo junto a la zona adoral de membrana la cual hace un giro de 360°, la franja ciliar perizonal siempre estuvo conformada por cinco cinetias, el macronúcleo es globular y se ubicó en la parte anterior del cuerpo al igual que el micronúcleo, en la parte posterior presentó una vacuola contráctil, por último, presentó cilios alrededor de todo el cuerpo y algunos cilios caudales en la parte posterior de la célula.

En cuanto al tamaño de los organismos, las medidas coincidieron con las de las poblaciones descritas por Omar y Jung (2022). Bourland *et al.* (2016) mencionan que el micronúcleo se encuentra lejano al macronúcleo, en el caso de esta población el micronúcleo se encontró junto al macronúcleo.

En México esta especie se ha registrado bajo el nombre de *B. spiralis* (nombre utilizado para *B. contorta* hasta 2014) en La Cantera, Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 2009); en el Manantial Tiacaque, Estado de México; Lago Azucena, Oaxaca y en el Lago Tzisco, Chiapas (Méndez-Sánchez, 2017). Los organismos registrados en esta tesis presentaron un tamaño ligeramente mayor en anchura y la longitud fue menor en comparación con la población descrita por Méndez-Sánchez (2017), el resto de las características coincidieron con lo mencionado por el autor

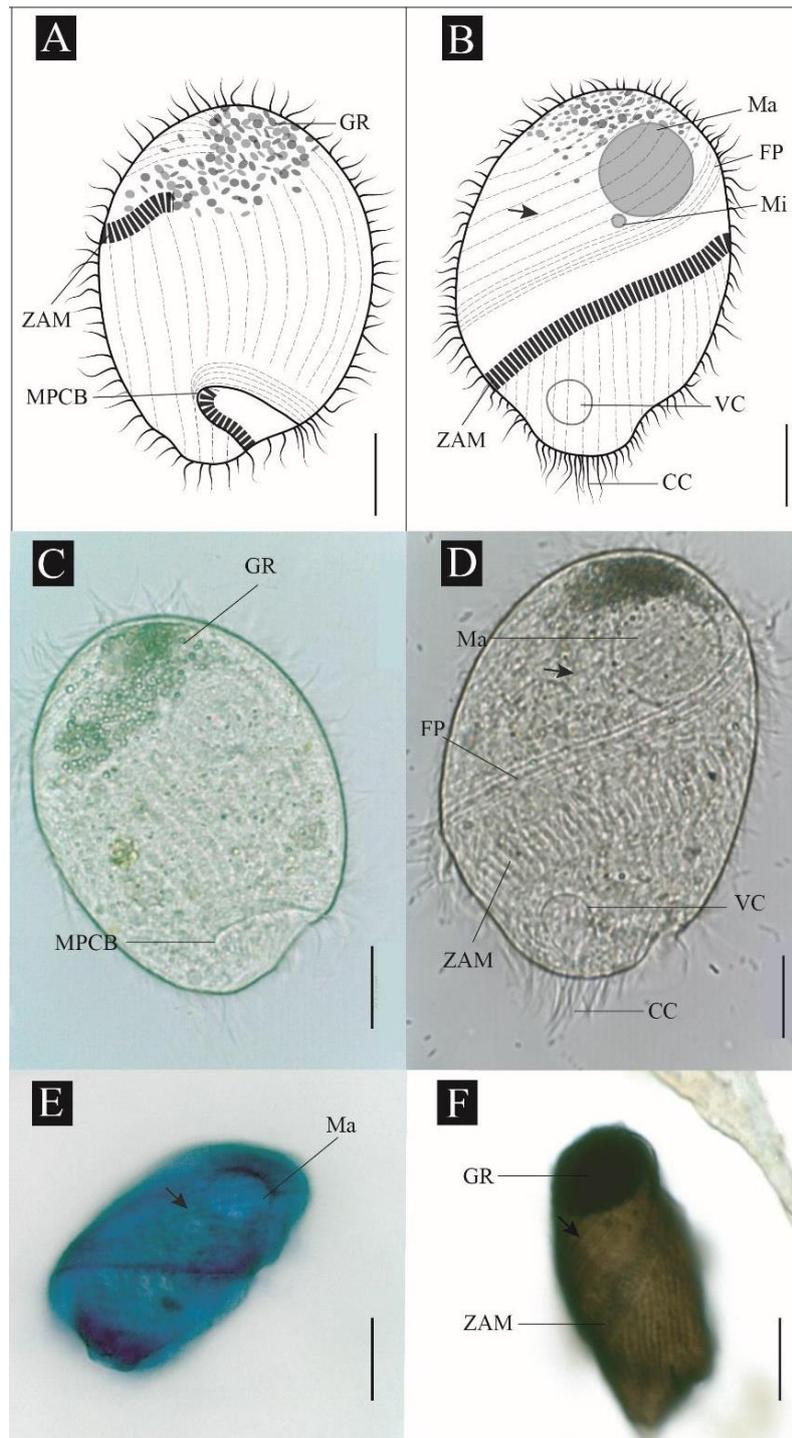


Figura 14. *Brachonella contorta*. (A-B) Representación esquemática de la vista ventral y dorsal. Las cinetias del domo preoral se señalan con una flecha negra. (C) Vista ventral de un individuo observado *in vivo*. (D) Vista dorsal de un individuo observado *in vivo*. (E) Vista dorsal que muestra el aparato nuclear después de tinción con Hematoxilina de Harris. (F) Vista dorsal después de impregnación con plata en “seco” de Klein. Abreviaturas: **CC**- cilios caudales, **FP**- cinetia de la franja ciliar perizonal, **GR**- gránulos refractivos, **Ma**- macronúcleo, **Mi**- micronúcleo, **MPCB**- margen proximal de la cavidad bucal, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Las cinetias del domo preoral se señalan con una flecha negra. Escala: 50 μm.

Chilodonella uncinata

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 49 μm de largo x 31 μm de ancho. Ciliado de cuerpo elipsoidal con un extremo ligeramente saliente y redondeado, con citoplasma hialino y la región dorsal con una forma convexa. El citostoma presenta una forma de cuerno o cornucopia, está conformado por varillas y se ubica en la parte media del organismo (Figura 15. A-C). Presenta cinetias en ambos costados del cuerpo que van desde la parte anterior hasta la parte posterior del organismo, de las cinetias del lado derecho surgen algunos cilios somáticos, así mismo, se logra ver la cinetia preoral, también, cuenta con dos vacuolas contráctiles en la parte media del cuerpo (Figura 15. A, D). El macronúcleo es esférico con glóbulos densos de cromatina y el micronúcleo se encuentra cercano a este, ambos se ubican en la parte posterior de la célula (Figura 15. E).

Comentarios taxonómicos:

Qu y colaboradores (2022) mencionan que el género *Chilodonella* presenta el fragmento terminal en una posición subapical, en este caso no fue posible identificar dicha estructura debido a la falta de técnicas de impregnación, sin embargo, entre las características principales de *Chilodonella uncinata* están la forma elipsoidal con un pico ligeramente saliente y redondeado, ventralmente aplanado y dorsalmente variable, cinetias laterales en ambos costados de la célula, el macronúcleo puede ser esférico o elipsoide casi siempre cercano a la parte posterior de la célula, con acumulación de cromatina en los bordes, coincidiendo con lo observado en la población de este trabajo donde la superficie dorsal siempre presentó una forma convexa y el macronúcleo una forma circular.

Foissner y colaboradores (1991) indican que *C. uncinata* presenta dos vacuolas contráctiles una en la parte anterior y la segunda en la región posterior izquierda, el citostoma se ubica en la región anterior y está formado por entre 9 a 11 varillas, inicia con una forma de embudo y finaliza con una forma de cuerno enrollado. Los organismos descritos en esta tesis coinciden con lo anterior, sin embargo, la posición del micronúcleo no es mencionada por ningún autor, en esta población siempre se encontró por debajo del macronúcleo y cercano a este, por otro lado,

el número de varillas presentes en el citostoma dio un total de ocho, este número no es fiable debido a que no se pudieron observar todas las varillas *in vivo* ni en fotografías, y que las técnicas no lograron resaltar de forma uniforme la cantidad total de varillas.

Chilodonella uncinata se ha registrado en Oaxaca en el Lago Analco y en la Presa “La Azucena” (Méndez-Sánchez, 2017) como ciliado de vida libre al igual que para el resto del país con registros en tres localidades de la Ciudad de México (Moreno-Rodríguez, 1985; Rivera et al., 1988; Nomdeudeu y López-Ochoterena, 1988 en Aladro-Lubel et al., 2006; Luna-Pabello, 1993; Luna-Pabello et al., 1994, 1996 en Aladro-Lubel et al., 2006; González-Labastida, 1995; García-Santana, 2000) y en dos lagunas de Puebla (Lugo-Vázquez, 1993; Lugo-Vázquez et al., 1998 en Aladro-Lubel et al., 2006). También se ha registrado como simbiote en piel de la carpa dorada (*Carassius auratus* Linnaeus, 1758) en la Laguna de Salazar, Estado de México (Armijo-Ortiz, 1968); en piel y branquias de carpas barrigonas (*Cyprinus rubrofuscus* Lacépède 1803) cultivadas en el Centro Acuícola de Zacapu, Michoacán (Hérroz-Zamorano, 1998), así como en piel y branquias de carpas barrigonas recolectadas en el Centro Acuícola de Tezontepec de Aldama, Hidalgo (Hérroz-Zamorano, 2000).

La población estudiada en la presente tesis presentó un tamaño mayor en comparación con las medidas dadas por Armijo-Ortiz (1968), Hérroz-Zamorano (1998; 2000) y Méndez-Sánchez (2017), por otro lado, las medidas de Luna-Pabello (1993) son mayores en comparación con los ciliados identificados. En cuanto a la posición del micronúcleo respecto al macronúcleo coincide con lo descrito por Armijo-Ortiz (1968) y Luna-Pabello (1993). El resto de las características morfológicas son idénticas a las descripciones mexicanas mencionadas por Armijo-Ortiz, 1968; Luna-Pabello, 1993; Hérroz-Zamorano, 1998; 2000; Méndez-Sánchez, 2017.

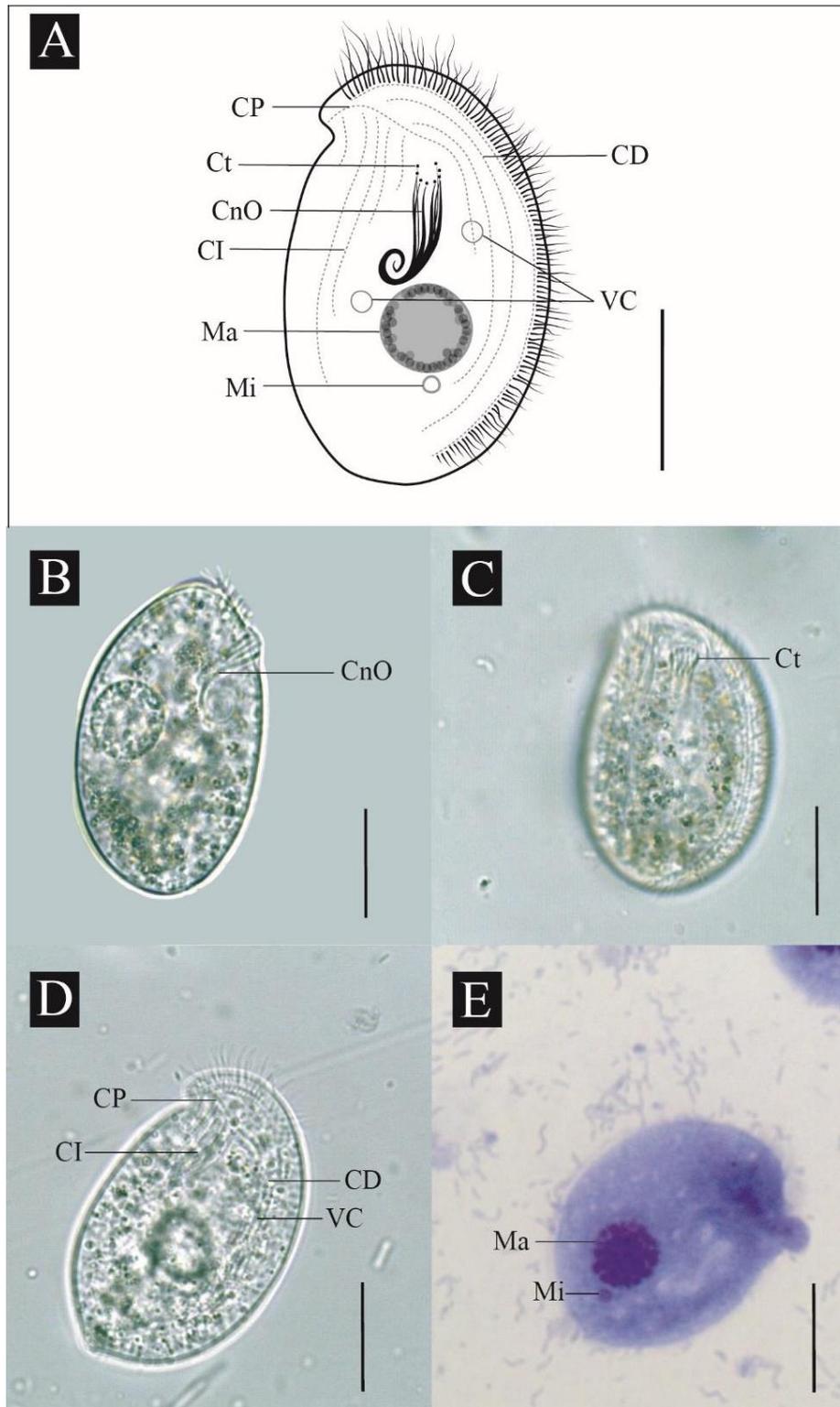


Figura 15. *Chilodonella uncinata*. (A) Representación esquemática de la vista ventral. (B) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. (C-D) Vista ventral de diferentes individuos observados *in vivo*. (E) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **CD**- cinetias dorsales, **CI**- cinetias izquierda, **CnO**- canasta oral, **CP**- cinetia preoral, **Ct**- citostoma compuesto por varillas, **Ma**- macronúcleo, **Mi**- micronúcleo, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 20 μ m.

Cinetochilum margaritaceum

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 25.8 µm de largo x 21.2 µm de ancho. El cuerpo es aplanado y de forma ovoide, con cinetias a lo largo del cuerpo muy evidentes, cilios en la periferia del cuerpo y alrededor de cinco cilios caudales, la apertura oral se encuentra a un costado de la célula y ocupa gran parte del tamaño total (Figura 16. A, C, E, F). Presenta una vacuola contráctil al costado derecho de la superficie dorsal (Figura 16. B, D). Su macronúcleo es redondo y se encuentra en la parte inferior del cuerpo cercano a la apertura oral (Figura 16. E).

Comentarios taxonómicos:

Las descripciones para *Cinetochilum margaritaceum* mencionan que posee una forma lenticular con cinetias somáticas que se extienden siguiendo la forma del cuerpo, está cubierto de cilios, posee una vacuola contráctil en la parte posterior, el macronúcleo y micronúcleo son esféricos ubicados en la parte media del cuerpo, tiene una gran cantidad de extrusomas, en la parte posterior tiene aproximadamente cinco cilios caudales, el área bucal ocupa gran parte del cuerpo ubicada detrás de la mitad del cuerpo y desplazado hacia el costado izquierdo con una membrana ondulante cerca del borde derecho del citostoma (Foissner *et al.*, 1994; Gong y Song, 2008; Alekperov *et al.*, 2012; Téllez-Nogués, 2015), dichas características coinciden con las que presentaron los ciliados identificados, sin embargo, en las observaciones hechas *in vivo* así como en las preparaciones realizadas no se lograron observar ni resaltar los extrusomas en ninguno de los individuos. Las medidas del cuerpo varían entre los cuatro autores, no obstante, el tamaño de los organismos descritos en este trabajo coincide con lo mencionado por Téllez-Nogués (2015).

En México, esta especie se ha registrado en dos localidades de la Ciudad de México (Nomdeudeu y López-Ochoterena, 1988 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; González-Labastida, 1995); en el Lago Ocotlal y el Manantial Tiacaque, Estado de México (Méndez-Sánchez, 2017); en dos lagunas de Puebla (Lugo-Vázquez, 1993; Lugo-Vázquez *et al.*, 1998 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006); en el Lago Montebello, Chiapas

y en el estado de Oaxaca en el Lago Analco y Presa “La Azucena” (Méndez-Sánchez, 2017).

La morfología de los organismos del presente trabajo coincide con la de las poblaciones descritas por Méndez-Sánchez (2017), sin embargo, las medidas varían ligeramente, sobre todo en el largo de las células.

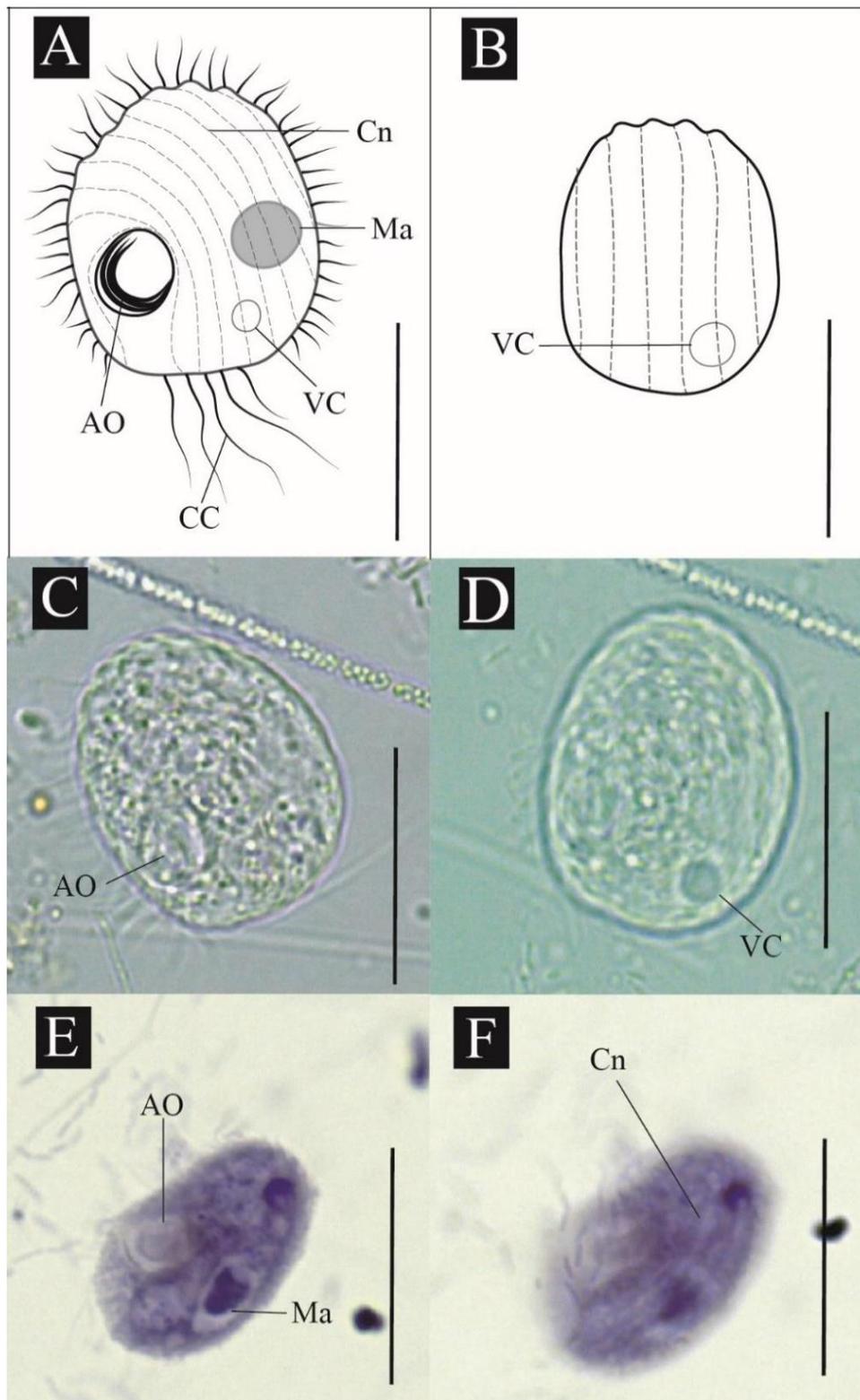


Figura 16. *Cinetochilum margaritaceum*. (A-B) Representación esquemática de la vista ventrolateral y dorsal. (C) Vista ventrolateral de un individuo observado *in vivo*. (D) Vista dorsal de un individuo observado *in vivo*. (E-F) Vista ventrolateral después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **AO**- apertura oral, **CC**- cilios caudales, **Cn**- cinetias, **Ma**- macronúcleo, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 20 μ m.

Coleps elongatus

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 77.23 μm de largo x 29.36 μm de ancho, mientras que el largo de los cilios caudales corresponde a 22 μm . El cuerpo es cilíndrico con uno de los extremos ligeramente redondeado y el extremo restante ligeramente recto, formado por placas de carbonato de calcio que se pueden distinguir en: placas colaterales anteriores, placas principales anteriores, placas principales posteriores y placas colaterales posteriores, donde las principales anteriores presentan cinco placas y las principales posteriores cuentan con cuatro placas, ambas con ventanas del tipo “hirtus” (Figura 17. A, D, F). La apertura oral se encuentra en la parte anterior, por debajo de la apertura oral se ubica la canasta oral, a lo largo del cuerpo presenta algunas vacuolas alimenticias y alrededor del cuerpo presenta cilios meridionales (Figura 17. A, B, C). En la región posterior presenta tres espinas muy evidentes y dos cilios caudales (Figura 17. A, C, F). El macronúcleo es globular y se ubica cerca de la parte media del ciliado (Figura 17. E).

Comentarios taxonómicos:

Coleps elongatus se identifica del resto de las especies del género por presentar una forma cilíndrica y no de barril, formado por placas, donde las placas principales anteriores presentan cinco placas y las placas principales posteriores presentan cuatro, en ambos casos las ventanas tienen una forma similar a la de un pretzel o del tipo “hirtus”, coincidiendo con lo observado para nuestra población. No presenta simbiosis con algas verdes, el macronúcleo es globular y se ubica ligeramente por debajo de la mitad del cuerpo, posee una vacuola contráctil en la parte posterior, los extrusomas son difíciles de observar *in vivo* y cuentan con 14 a 18 pares de cilios meridionales, nuestros individuos normalmente presentaban 16 pares. La apertura oral se ubica en la parte anterior y luce como una cesta. En la región posterior presentaron dos cilios caudales de aproximadamente 20 μm de largo y tres espinas (Noland, 1925; Foissner *et al.*, 1999; Gosh *et al.*, 2021). Las características que más se observan en nuestra población es la forma del cuerpo, el número y tipo de placas, la apertura oral y su forma, así como las tres espinas y

dos cilios caudales, estos últimos con un tamaño mayor al mencionado por Foissner *et al.* (1999). Este trabajo representa el primer registro de esta especie para el país.

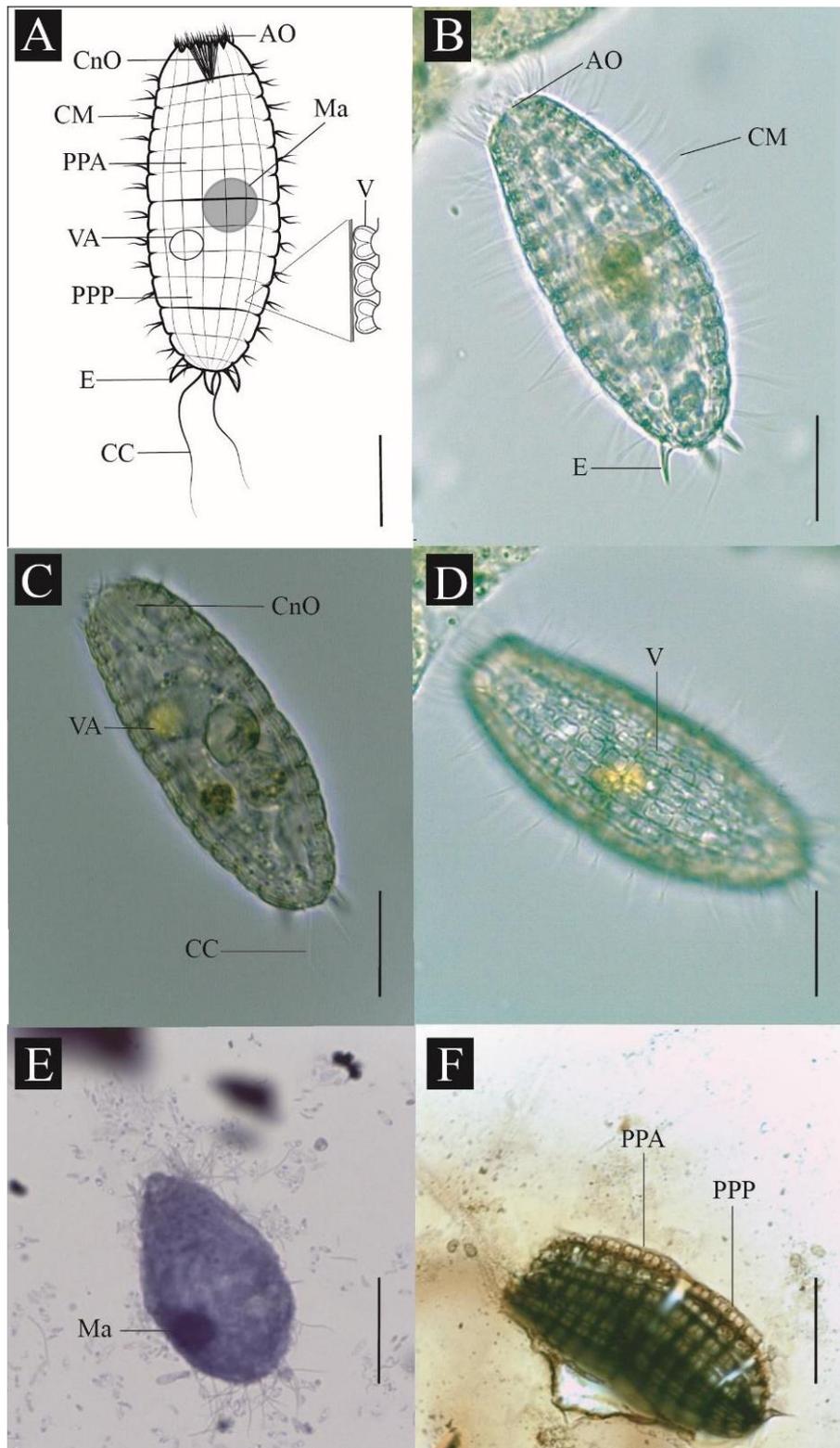


Figura 17. *Coleps elongatus*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. (B-D) Vista lateral de diferentes individuos observados *in vivo*. (E) Vista lateral después de tinción con Hematoxilina de Harris. (F) Vista lateral después de impregnación con plata en “seco” de Klein. Abreviaturas: **AO**- apertura oral, **CC**- cilios caudales, **CM**- cilios meridionales, **CnO**- canasta oral, **E**- espina, **Ma**- macronúcleo, **PPA**- placas principales anteriores, **PPP**- placas principales posteriores, **VA**- vacuola alimenticia, **V**- ventana tipo “hirtus”. Escala: 20 µm.

***Coleps* sp.**

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 48.8 μm de largo x 33.12 μm de ancho. Cuerpo en forma de barril. Posee una armadura compuesta por placas longitudinales. Presenta dos espinas en la parte anterior del cuerpo. El macronúcleo se ubica en la parte media del cuerpo (Figura 18).

Comentarios taxonómicos:

El género *Coleps* cuenta con cinco especies que se caracterizan por presentar una forma cilíndrica parecida a la de un barril, el cuerpo se encuentra cubierto por placas y la estructura oral se ubica en la parte anterior del cuerpo mientras que en la región posterior presenta espinas, las especies se diferencian entre sí por la cantidad de espinas, de cilios caudales, de placas, así como por el tamaño del cuerpo (Noland, 1925; Gosh *et al.*, 2021; Pröschold *et al.*, 2021). Debido a la falta de individuos en las muestras, así como de fotografías y técnicas de identificación no fue posible la identificación a nivel especie.

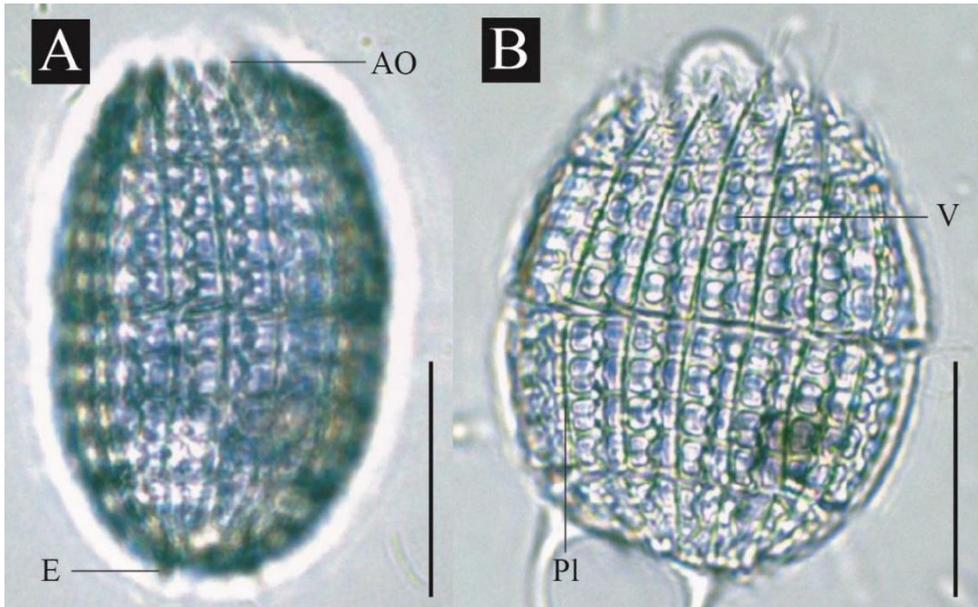


Figura 18. *Coleps* sp. (A) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. (B) Vista lateral de un individuo reventado. Abreviaturas: **AO**- apertura oral, **E**- espina, **Pl**- placa longitudinal, **V**- ventana de tipo "hirtus". Escala: 20 μ m.

***Cyclidium* sp.**

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 16.24 μm de largo x 7.44 μm de ancho. Cuerpo ovoide que en la parte anterior presenta una protuberancia y la parte posterior es ligeramente redondeada (Figura 19. B). Tiene una membrana paroral que ocupa 3/4 del tamaño total de la célula, su citoplasma es incoloro y cuenta con una vacuola contráctil en la parte posterior. El cuerpo está rodeado por cilios y en la parte posterior presenta un cilio caudal (Figura 19).

Comentarios taxonómicos:

El género *Cyclidium* cuenta con más de 40 especies que se caracterizan por poseer un cuerpo ovalado o elíptico con el extremo posterior truncado, un único cilio caudal, una vacuola contráctil en la parte terminal posterior y una membrana paroral en forma de ala (Pan *et al.*, 2017). De acuerdo con Song y Wilbert (2002) debido al parecido morfológico entre las especies es necesario realizar impregnación con plata para lograr identificar la especie, por lo que, debido a la falta de individuos en las muestras, así como de técnicas de identificación, no fue posible identificar a los organismos observados a nivel de especie.

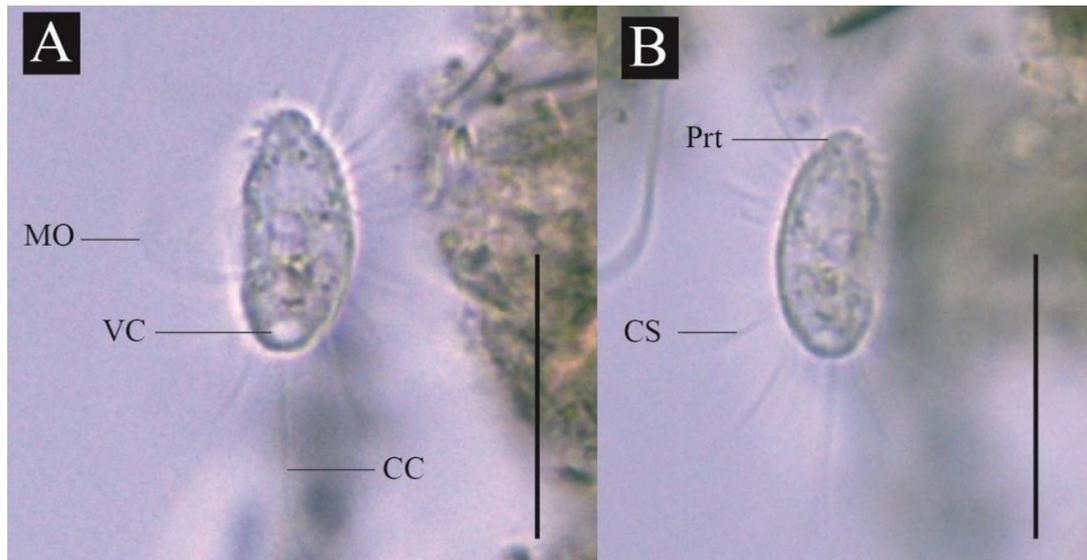


Figura 19. *Cyclidium* sp. (A) Vista ventral de un individuo observado *in vivo*. (B) Vista dorsal de un individuo observado *in vivo*. Abreviaturas: **CC**- cilio caudal, **CS**- cilios somático, **MO**- membrana ondulante, **Prt**- protuberancia, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 20 μ m.

***Didinium* sp.**

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 86.24 μm de largo x 64.52 μm de ancho. Ciliado con forma ovoide, en la región anterior cuenta con una protuberancia (probóscide) que luce como un chupón y el citoplasma es ligeramente granulado, también, presenta dos faldas de cilios: la primera se encuentra en la parte anterior, cerca de la protuberancia y la segunda se ubica debajo de la región ecuatorial del cuerpo, ambas faldas rodean por completo al organismo, por último, presenta una vacuola contráctil en la parte posterior (Figura 20).

Comentarios taxonómicos:

El género *Didinium* es muy similar al género *Monodinium*, el principal carácter para determinar qué se trata de *Didinium* es que este posee dos franjas ciliares, una en la parte anterior y la segunda por debajo de la región ecuatorial, también presenta una probóscide en la parte anterior y una vacuola contráctil en la parte posterior. Las especies del género *Didinium* se diferencian entre sí por la cantidad de micronúcleos, así como por la presencia de extrusomas en la probóscide (Foissner *et al.*, 1999), sin embargo, debido a la falta de individuos en las muestras, de preparaciones y fotografías no fue posible lograr una identificación a nivel de especie.



Figura 20. *Didinium* sp. (A) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. Abreviaturas: **FC1**- faldita de cilios 1, **FC2**- faldita de cilios 2, **Pr**- probóscide, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μ m.

Euplotes aediculatus

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 136.6 μm de largo x 82.3 μm de ancho. El cuerpo es ovoide con un collar que sobresale en la parte anterior, la zona adoral de membranelas es recta, presenta una vacuola contráctil en la parte posterior del margen derecho, presenta nueve cirros frontoventrales, cinco cirros transversos, dos cirros marginales y dos cirros caudales deshilachados (Figura 21. A-C). El macronúcleo es parecido a un “3” ocupando la mayor parte del cuerpo, el micronúcleo es esférico, y se encuentra cercano a la hendidura del macronúcleo (Figura 21. D). Presenta un argiroma de tipo “doble eurystomus” (Figura 21. E).

Comentarios taxonómicos:

Euplotes aediculatus se distingue por presentar nueve cirros frontoventrales, cinco cirros transversos y cuatro cirros caudales, dos de los cuales se encuentran deshilachados, tiene un peristoma de tamaño mediano de forma triangular y un collar en la parte dorsal, la zona adoral de membranelas es recta o con tendencia a una ligera curva pero nunca presenta una forma de “S”, el macronúcleo tiene una forma de “C” o “3” con la parte dorsal aplanada y el micronúcleo ubicado en la región anterior lejano al macronúcleo, mientras que el argiroma dorsal es del tipo “doble eurystomus” (Curds, 1975; Foissner *et al.*, 1991; Zhang *et al.*, 2017; Abraham *et al.*, 2021; Gong *et al.*, 2022), todo lo anterior coincide con la población del presente trabajo, sin embargo, solo fueron identificados ocho de los nueve cirros frontoventrales mencionados por los autores (Curds, 1975; Foissner *et al.*, 1991; Abraham *et al.*, 2021). Así mismo, el tamaño de los ciliados identificados coincide más con el mencionado por Foissner y colaboradores (1991). El micronúcleo se ubicó cercano a la depresión de la región anterior del macronúcleo, coincidiendo más con lo descrito por Abraham y colaboradores (2021).

Euplotes aediculatus ha sido registrado únicamente en el estado de Oaxaca en la Presa “La Azucena” (Méndez-Sánchez, 2017) y en la Presa “El Estudiante” (Méndez-Sánchez *et al.*, 2020). La longitud de la población estudiada en esta tesis es ligeramente menor, mientras que la anchura es mayor en comparación con las

medidas dadas por Méndez-Sánchez (2017), no obstante, ambas poblaciones coinciden para el resto de las características.

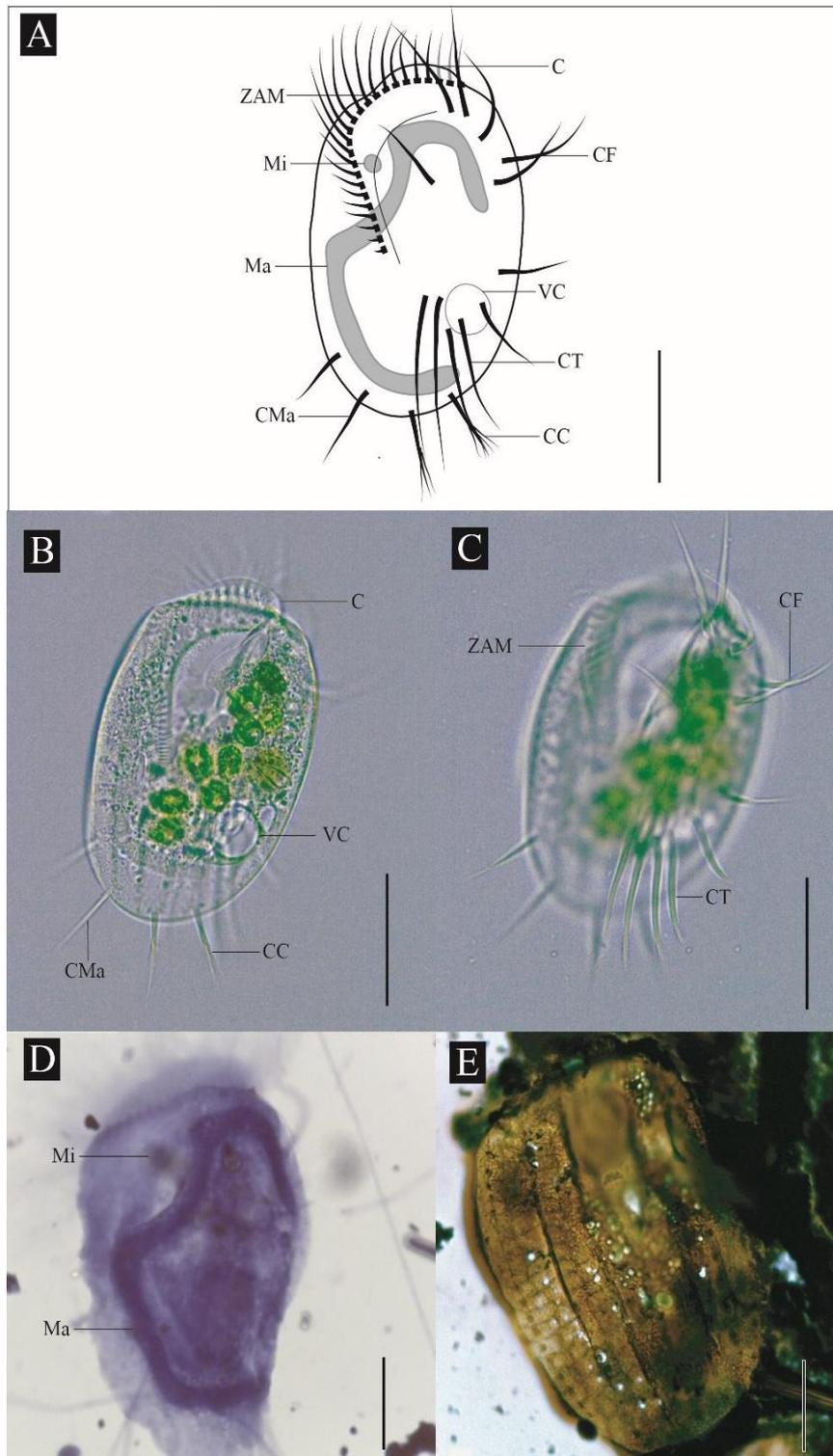


Figura 21. *Euplotes aediculatus*. (A) Representación esquemática de la vista ventral. (B-C) Vista ventral del mismo individuo observado *in vivo*. (D) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. (E) Vista dorsal después de impregnación con plata en “seco” de Klein. Abreviaturas: **C**-cuello, **CC**- cirros caudales, **CF**- cirros frontoventrales, **CMa**- cirros marginales, **CT**- cirros transversos, **Ma**- macronúcleo, **Mi**- micronúcleo, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 50 μ m (A-C) y 20 μ m (D-E).

Euplotes eurystomus

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 170.33 μm de largo x 117.68 μm de ancho. Cuerpo ovoide que presenta una zona adoral de membranelas con forma sigmoidal muy evidente, presenta una vacuola contráctil en la parte posterior cercana al margen derecho, posee ocho cirros frontoventrales, cinco cirros transversales, dos cirros marginales y dos cirros caudales deshilachados (Figura 22. A-C). El macronúcleo tiene una forma típica de “3” y abarca la mayor parte del cuerpo, mientras que el micronúcleo es esférico y está cercano a la hendidura del macronúcleo (Figura 22. D).

Comentarios taxonómicos:

Euplotes eurystomus es muy similar a *E. aediculatus* ya que ambas especies poseen el mismo número de cirros frontoventrales, transversos, caudales y marginales, sin embargo, la primer especie se diferencia principalmente porque la zona adoral de membranelas presenta una forma sigmoidal muy visible en todos los casos, también posee un tamaño mayor al de *E. aediculatus* (180 μm x 135 μm vs. 120 μm x 80 μm), la apertura bucal presenta una forma triangular, el collar es alto y prominente, el macronúcleo tiene una forma típica a un “3” el cual casi siempre presenta una muesca en la parte anterior que contiene al micronúcleo (Curds, 1975; Foissner *et al.*, 1991; Méndez-Sánchez, 2017). Todas las características previamente mencionadas coincidieron con lo registrado para los individuos de esta población, sin embargo, el tamaño de los ciliados identificados concordaron más con el intervalo de tamaño dado por Foissner y colaboradores (1991), por otro lado, el micronúcleo se encontró alejado del macronúcleo y no en una muesca de éste.

En México esta especie se ha registrado en dos diferentes localidades de la CDMX (Aladro-Lubel *et al.*, 2009; López-Ochoterena, 1965); la cascada Cacalotenango, Guerrero (Teyer-Santiago *et al.*, 2021); y en los lodos activados de una planta de tratamiento de aguas industriales en Nuevo León (Zamora-Mendoza, 1995). En Oaxaca se ha registrado en la granja piscícola de traspatio “La Tilapia Zimateca”

(Rivas-Beltrán *et al.*, 2023) y bajo el nombre *Euplotoides eurystomus* en el Lago Analco y Presa “La Azucena”, Oaxaca; en dos localidades de Chiapas (Méndez-Sánchez, 2017) y en el Lago Chignahuapan, Estado de México (Méndez-Sánchez *et al.*, 2018). La población de esta tesis presenta mayor tamaño en longitud y amplitud en comparación con las poblaciones de Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023) y de la Ciudad de México (López-Ochoterena, 1965), sin embargo, nuestras medidas son más cercanas a las dadas por Méndez-Sánchez (2017). Pese a que el tamaño difiere de las poblaciones de Oaxaca y la Ciudad de México, el resto de las características son consistentes con las descritas para los individuos de esta tesis.

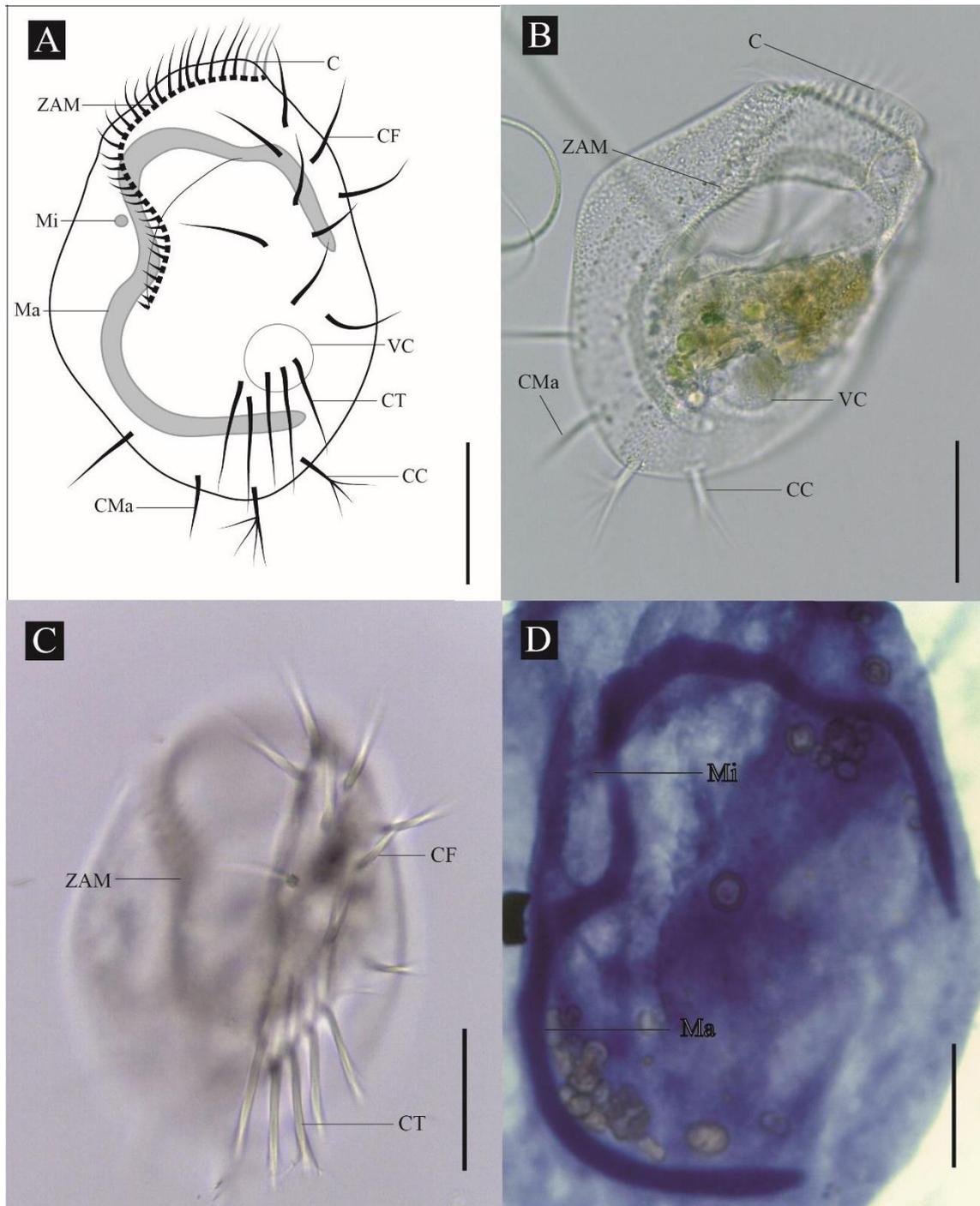


Figura 22. *Euplotes eurystomus*. (A) Representación esquemática de la vista ventral. (B-C) Vista ventral del mismo individuo observado *in vivo*. (D) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **C**- cuello, **CC**- cirros caudales, **CF**- cirros frontoventrales, **CMa**- cirros marginales, **CT**- cirros transversos, **Ma**- macronúcleo, **Mi**- micronúcleo, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 50 μ m (A-C) y 20 μ m (D).

Euplotes cf. octocarinatus

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 72.26 μm de largo x 47.16 μm de ancho. Ciliado de cuerpo elipsoidal con citoplasma hialino, con un total de siete cirros frontales observados, cinco cirros transversos y cuatro caudales, una vacuola contráctil y varias vacuolas alimenticias distribuidas al centro del cuerpo, la zona adoral de membranelas ocupa cerca de la mitad del cuerpo, además, la bolsa preoral y las tres crestas ventrales son muy evidentes (Figura 23. A, C, E, F). Por otro lado, en la parte dorsal se observan seis crestas dorsales y el cuello (Figura 23. B, D). El macronúcleo tiene una forma de “C” y cercano a este se ubica el micronúcleo con forma esférica (Figura 23. G).

Comentarios taxonómicos:

Curds (1975) menciona que *Euplotes octocarinatus* mide 80 μm x 50 μm , presenta una zona adoral de membranelas que ocupa la mitad de la longitud del cuerpo además de presentar nueve cirros frontoventrales, cinco transversos y cuatro caudales, aunque en ocasiones pueden ser cinco, el argiroma dorsal de tipo “doble patella” y el macronúcleo posee una forma de “C” y un micronúcleo esférico. Por otro lado, Méndez-Sánchez y colaboradores (2020) mencionan que el tamaño puede ser de 68-126 μm x 36-76 μm , dichas medidas coincidieron más con el ciliado identificado, así mismo, mencionan la presencia de una bolsa preoral, tres crestas en la parte ventral y seis en la parte dorsal, citoplasma hialino, varias vacuolas centrales, una vacuola contráctil, nueve cirros frontoventrales, cinco transversos, dos caudales y dos fimbriados. Muchas de las características mencionadas por los autores (Curds, 1975; Méndez-Sánchez *et al.*, 2020) como la cantidad de cirros transversos y caudales, la forma del macronúcleo y micronúcleo, la bolsa preoral, las crestas ventrales y dorsales, así como la presencia de varias vacuolas centrales, coincidieron con lo encontrado y descrito para el ciliado identificado, sin embargo, debido a la falta de organismos en las muestras y de preparaciones no fue posible observar todos los caracteres claves para la determinación de la especie.

En México esta especie se ha registrado únicamente en el Lago Analco (Méndez-Sánchez, 2017; Méndez-Sánchez *et al.*, 2020), en la Presa “El Estudiante” (Méndez-Sánchez *et al.*, 2020) y en la Presa “La Azucena” en el estado de Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017). Las medidas de la población de esta tesis son menores en comparación con las tres poblaciones registradas para Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017; Méndez-Sánchez *et al.*, 2020), no obstante, los individuos del Lago Analco y de la Presa “La Azucena” (Méndez-Sánchez, 2017) presentan un tamaño cercano al de los ciliados identificados en esta tesis. El resto de las características coinciden con las descripciones de las tres poblaciones.

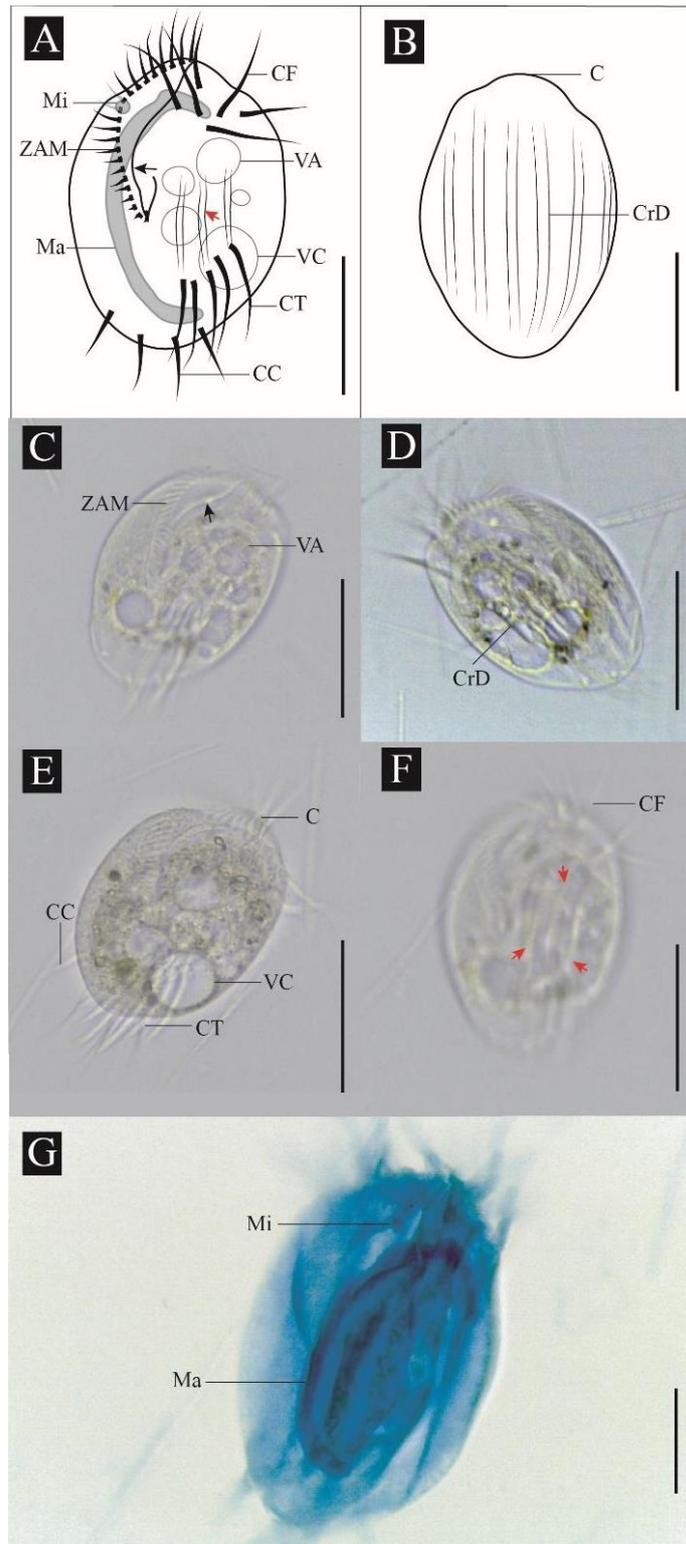


Figura 23. *Euplotes* cf. *octocarinatus*. (A-B) Representación esquemática de la vista ventral y dorsal. La bolsa preoral se señala con una flecha negra y las crestas ventrales se señalan con flechas rojas. (C, E y F) Vista ventral del mismo individuo observado *in vivo*. (D) Vista dorsal de un individuo observado *in vivo*. (G) Vista dorsal después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **C**-cuello, **CC**- cirros caudales, **CF**- cirros frontoventrales, **CrD**- crestas dorsales, **CT**- cirros transversos, **Ma**- macronúcleo, **Mi**- micronúcleo, **VA**- vacuola alimenticia, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 50 μ m (A-F) y 20 μ m (G).

***Frontonia* sp.**

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 312.18 μm de largo x 153.62 μm de ancho. Cuerpo elipsoidal con tricocistos alrededor de todo el borde del cuerpo, con la apertura oral en la parte anterior del cuerpo, una vacuola contráctil de canales largos que abarcan gran parte del ciliado, además, la vacuola contráctil presenta un poro, por último, el macronúcleo es compacto y elipsoidal (Fig. 24).

Comentarios taxonómicos:

Para la determinación de especies dentro del género *Frontonia* los caracteres importantes a considerar son: el tamaño y forma del cuerpo, número de vacuolas contráctiles, el patrón ciliar del aparato oral y el número de cinetias somáticas (Chen *et al.*, 2014; Park y Min, 2017). Además, las especies pertenecientes a este género presentan muchas variaciones entre sí, muchas de las especies de agua dulce no están lo suficientemente estudiadas o están poco delimitadas, por lo que son necesarios estudios donde se comparen las características morfológicas de las especies dulceacuícolas del género (Cai *et al.*, 2018). A consecuencia de esto, y a la falta de preparaciones para técnicas que permitieran la identificación del patrón ciliar y el número de cinetias somáticas, la identificación específica no fue posible.

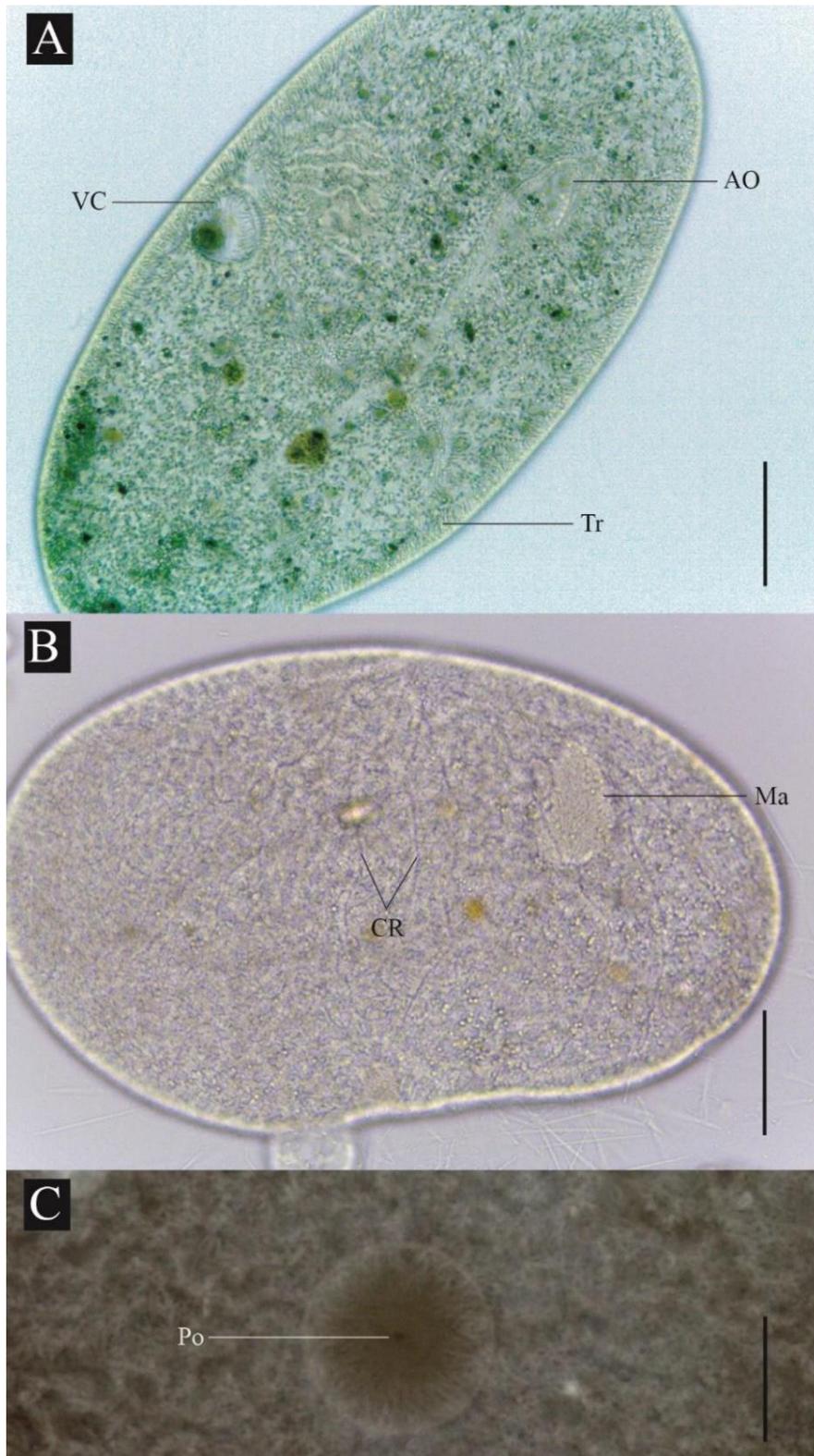


Figura 24. *Frontonia* sp. (A-B) Vista ventral de diferentes individuos observados *in vivo*. (C) Vacuola contráctil con filtro negativo para resaltar el poro. Abreviaturas: **AO**- apertura oral, **CR**- canales radiales, **Ma**- macronúcleo, **Po**- poro, **Tr**- tricocistos, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μm (A y B) y 20 μm (C).

Halteria cf. grandinella

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 312.18 μm de largo x 153.62 μm de ancho. Ciliado con cuerpo mayormente esférico y citoplasma incoloro, en la parte anterior presenta una corona de cilios que corresponde a las membranas externas de la zona adoral y cercana a esta se ubica la apertura oral, además, posee una vacuola contráctil en el lado derecho, muy cercana al citostoma (Figura 25. A-D). En el área ecuatorial presenta siete grupos de tres cerdas (cilios) cada uno que se extienden en tres direcciones diferentes (Figura 25. E). El macronúcleo elipsoidal se ubica al centro del cuerpo (Figura 25. F).

Comentarios taxonómicos:

Halteria grandinella puede confundirse con la especie *Pelagohalteria viridis*, debido a que la segunda especie presenta un arreglo de sus filas ciliares longitudinales similar al de *H. grandinella* (Foissner, 1994). *Halteria grandinella* se delimita principalmente por su tamaño (30 μm), por el macronúcleo que puede ser oblongo o globular, ubicado en la parte media del cuerpo, por la vacuola contráctil que se ubica a un costado de la cavidad bucal, por el citoplasma, el cual no presenta color y por presentar en el área ecuatorial entre 7 a 10 cerdas (cilios) longitudinales de un tamaño que va desde los 15 μm hasta los 25 μm (Foissner, 1994; Foissner *et al.*, 1999), los organismos descritos en el presente trabajo presentaron todas estas características, en el área ecuatorial nuestra población siempre presentó siete cerdas. También, *H. grandinella* presenta el aparato bucal en la región anterior, compuesto por una membrana ondulante y cierto número de membranas internas que se extienden hacia el citostoma, así mismo, la zona adoral de membranelas es muy prominente (Foissner *et al.*, 1999). La membrana ondulante, así como el número de membranas internas presentes en el aparato bucal no se lograron observar en nuestros individuos debido a la falta de técnicas de identificación, lo que nos lleva a confrontar este ciliado con *H. grandinella*, proponiendo hacer estudios posteriores para implementar otras técnicas de identificación y poder realizar una mejor identificación.

En México esta especie se ha registrado en el Lago de Chapultepec, CDMX (González-Labastida, 1995), en la Presa Guadalupe, Estado de México (Lugo-Vázquez *et al.*, 1998b), en dos localidades de Puebla (Lugo-Vázquez, 1993; Lugo-Vázquez *et al.*, 1998a; Lugo-Vázquez 2000; García de la Cabada, 2001), en San Blas, Nayarit (Martínez, 1971 en Aladro-Lubel *et al.* 2006; López, 1999 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006) y en la Laguna Pom, Campeche (Madrazo-Garibay y López-Ochoterena, 1986) sin embargo, los autores no presentan una descripción de la especie. Esta tesis representa el primer registro de esta especie en el estado de Oaxaca.

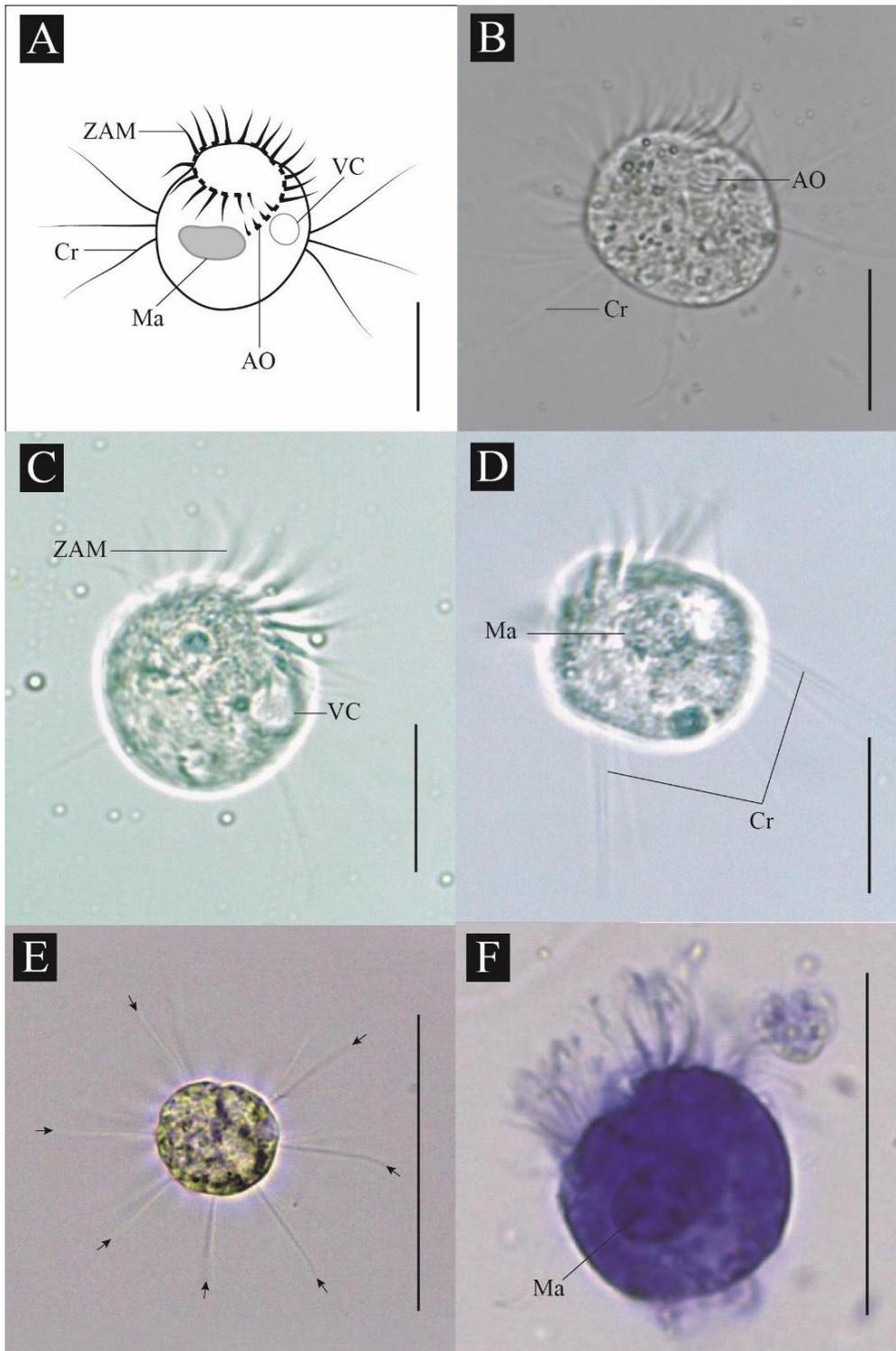


Figura 25. *Halteria* cf. *grandinella*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. (B) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. (C) Vista apical de un individuo observado *in vivo*. (D) Vista subapical de un individuo observado *in vivo*. (E) Vista subapical de un individuo observado *in vivo*. Las filas de cerdas ecuatoriales se señalan con flechas negras. (F) Individuo teñido con colorante cristal violeta. Abreviaturas: **AO**- apertura oral, **Cr**- cerdas ecuatoriales, **Ma**- macronúcleo, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 20 μ m (A-D) y 50 μ m (E-F).

***Monodinium* sp.**

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 36.38 μm de largo x 28.36 μm de ancho. Ciliado con forma ovoide, en la región anterior cuenta con una protuberancia (probóscide) que luce como un chupón, el citostoma es ligeramente granulado y posee una falda de cilios ubicada en la parte anterior del cuerpo, por último, presenta una vacuola contráctil en la parte posterior (Figura 26).

Comentarios taxonómicos:

De acuerdo con Foissner y colaboradores (1999) el género *Monodinium* se caracteriza por poseer una sola franja ciliar en la parte anterior del cuerpo, además de poseer una vacuola contráctil en la parte posterior del cuerpo, una probóscide y no mantener relaciones de simbiosis. Alekperov y colaboradores (2007) mencionan que para la determinación de especies es necesario identificar la forma de la probóscide, la forma del macronúcleo y la cantidad de micronúcleos, por lo que, debido a la falta de individuos en las muestras, así como de preparaciones no fue posible realizar una identificación específica a los organismos observados.



Figura 26. *Monodinium* sp. (A) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. Abreviaturas: **FC**- falda de cilios, **Pr**- probóscide, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μ m.

Oxytrichidae gen. sp.

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 108.81 μm de largo x 44.4 μm de ancho. Cuerpo elipsoidal con terminación redondeada en ambos extremos. Citoplasma sin color y con varios glóbulos brillantes, la zona adoral de membranelas ocupa entre el 40 al 50% del tamaño total y cerca de esta zona posee una vacuola contráctil, también presenta cirros frontoventrales y transversos, así mismo, en ambos costados del cuerpo posee cirros y en la parte caudal presenta tres cirros en forma de espina (Figura 27. A-B). Por último, presenta dos macronúcleos elipsoidales, uno en la parte anterior y otro en la parte posterior con dos micronúcleos esféricos cercanos a cada macronúcleo (Figura 27. C).

Comentarios taxonómicos:

La familia Oxytrichidae se caracteriza por presentar una forma elipsoidal y un tamaño de entre 300 μm a 400 μm de largo con una anchura de entre 40 μm a 60 μm , la zona adoral de membranelas ocupa el 40% del tamaño total de la célula, posee una vacuola contráctil situada en el costado izquierdo cerca de la parte media del cuerpo, el aparato nuclear está compuesto por dos nódulos y uno o dos micronúcleos, dependiendo de la especie, el citoplasma no posee coloración, sin embargo, está densamente ocupado por gránulos (Berger, 2012). Así mismo, Shao y colaboradores (2014) mencionan que la forma de la zona adoral de membranelas varía dependiendo del género, por lo que debido a la falta de técnicas donde se resalte el acomodo de las estructuras ciliares no fue posible la asignación a un género, y posterior identificación específica a pesar de que los individuos fueron abundantes en las muestras.

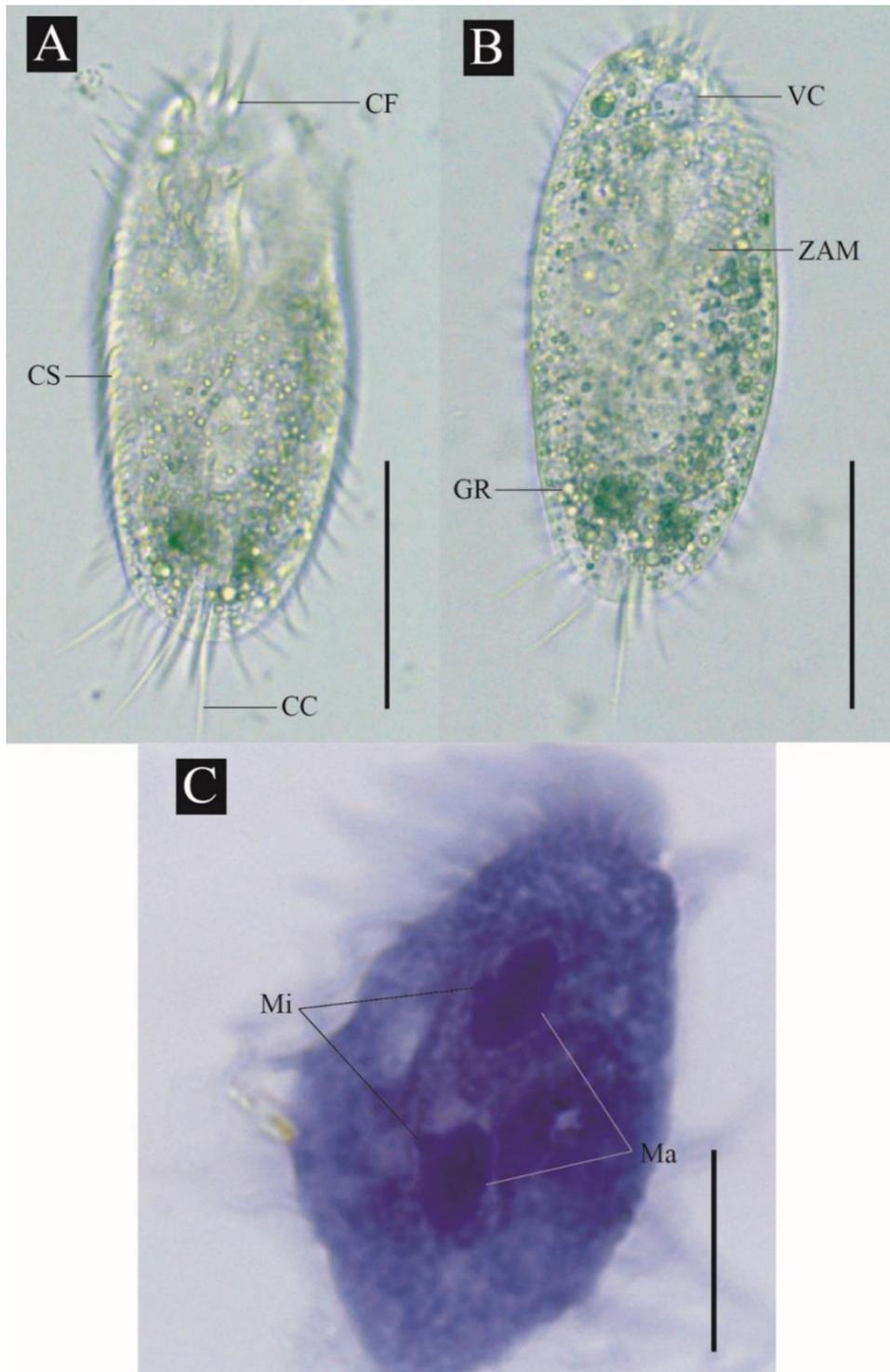


Figura 27. Oxytrichidae gen. sp. (A y B) Vista ventral de diferentes individuos observados *in vivo*. (C) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **CC**- cirros caudales, **CF**- cirros frontoventrales, **CS**- cirros somáticos, **GR**- gránulos refractivos, **Ma**- macronúcleo, **Mi**- micronúcleo, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 50 μm (A-B) y 20 μm (C).

Paramecium cf. caudatum

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 256.2 μm de largo x 82 μm de ancho. Ciliado con la típica forma del grupo “aurelia”, cuerpo alargado y elipsoidal, la parte anterior se encuentra redondeada mientras que la parte posterior es cónica y posee cilios caudales, cuenta con dos vacuolas contráctiles, una en la región anterior y la segunda en la región posterior, cada una con siete canales radiales, el borde interno del cuerpo se encuentra ocupado por tricocistos (Figura 28. A-C). Macronúcleo elipsoidal ubicado en la parte anterior (Figura 28. D).

Comentarios taxonómicos:

Los caracteres diagnósticos para *Paramecium caudatum* se encuentran bien identificados ya que posee la parte posterior del cuerpo puntiaguda a diferencia de *P. aurelia*, el tamaño máximo de la célula puede llegar a medir de 170 μm a 290 μm con una forma alargada, la parte anterior redondeada y la parte posterior cónica, dos vacuolas contráctiles con siete canales radiales, el macronúcleo es elipsoidal, compacto y se ubica en la parte anterior (Wichterman, 1986). Estos caracteres coinciden completamente con los observados y descritos para el ciliado encontrado. De acuerdo con Fokin (2010) el micronúcleo es único y compacto, además de presentar un único poro por vacuola contráctil, también, la especie puede poseer entre cinco a ocho canales radiales, pero normalmente presenta siete, coincidiendo con la cantidad de poros por vacuola y con el número de canales radiales observados en los ciliados encontrados, sin embargo, debido a que en las preparaciones realizadas con hematoxilina de Harris no se logró resaltar el micronúcleo, se decidió confrontar la especie con *P. caudatum* proponiendo hacer estudios posteriores para mejorar la técnica y poder realizar una mejor identificación.

Paramecium caudatum se ha registrado en tres localidades diferentes de la Ciudad de México (Moreno-Rodríguez, 1985; Nomdedeu y López-Ochoterena, 1988 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; Rivera *et al.*, 1988; Anaya-Huertas, 1992; Luna-Pabello, 1993; Luna *et al.*, 1994, 1995, 1996 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006 ; González-Labastida, 1995); en tres localidades distintas del Estado de México

(Rivera et al., 1987; Lugo-Vázquez *et al.*, 1991 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; Ibarra-Hernández, 1992; Sánchez-Rodríguez, 1994; Lugo-Vázquez *et al.*, 1998 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006); en la cascada Cacalotenango, Guerrero (Teyer-Santiago *et al.*, 2021); en Chiapas, Morelia, Puebla, Querétaro, Veracruz y Yucatán (Potekhin y Mayén-Estrada, 2020); y en dos localidades de Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017). Los individuos de esta tesis presentan mayor tamaño en comparación con las poblaciones de Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017) y se encuentra dentro del tamaño dado en la población de Ciudad Universitaria, CDMX (Luna-Pabello, 1993) por otro lado, la longitud coincide con la mencionada por Anaya-Huertas (1992) para su población, sin embargo, la anchura de los ciliados presentados en esta tesis es de mayor tamaño en comparación con dicha población. El resto de las características morfológicas coinciden más con las descritas por Anaya-Huertas (1992) y Luna-Pabello (1993).

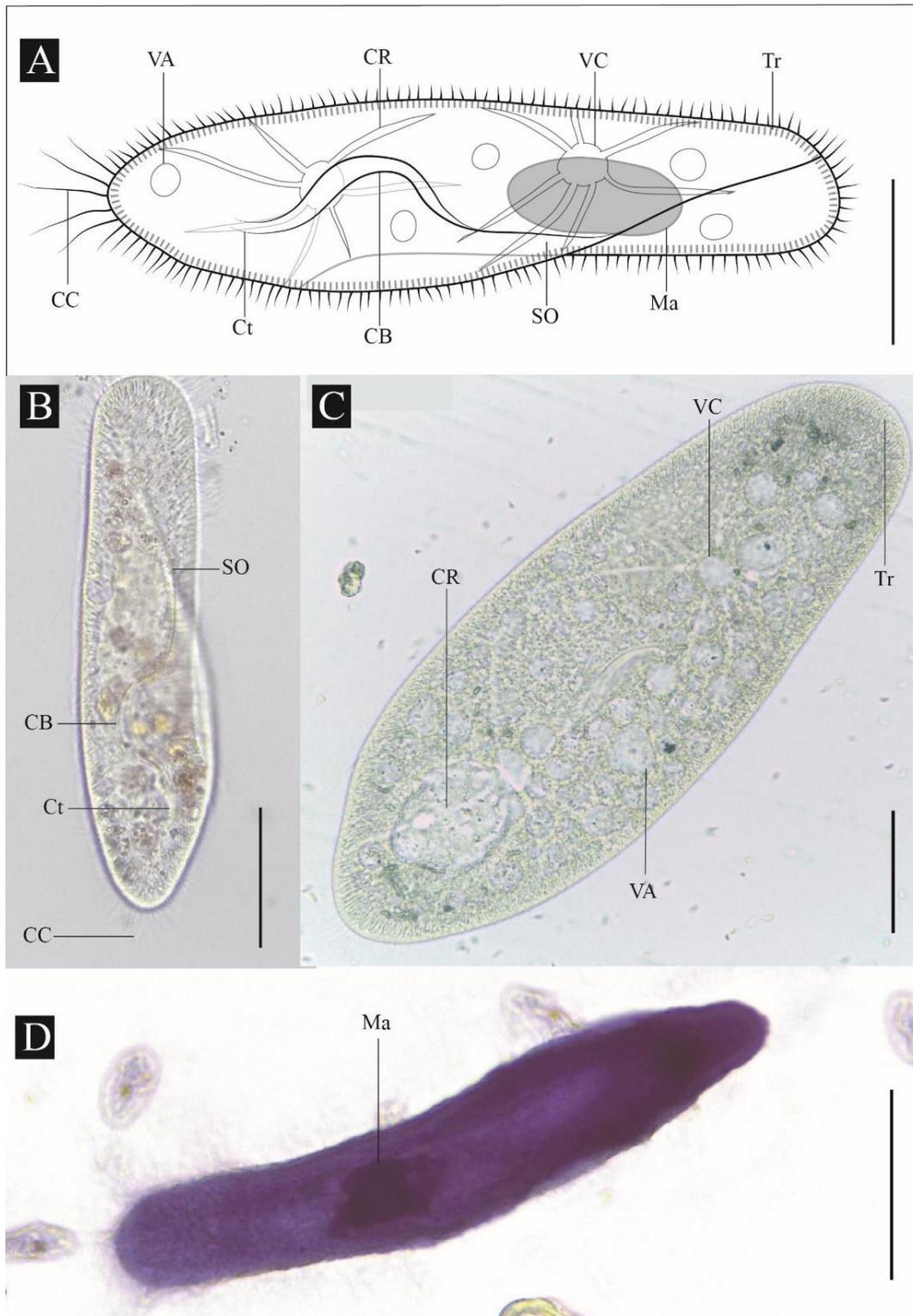


Figura 28. *Paramecium* cf. *caudatum*. (A) Representación esquemática de la vista ventral. (B y C) Vista ventral del mismo individuo observado *in vivo*. (D) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **CB**- cavidad bucal, **CC**- cilios caudales, **CR**- canales radiales, **Ct**- citostoma, **Ma**- macronúcleo, **SO**- surco oral, **Tr**- tricocistos, **VA**- vacuola alimenticia, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μ m.

Paramecium polycaryum

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 102.3 μm de largo x 50.8 μm de ancho. Ciliado de forma elipsoidal, con la parte posterior redondeada con cilios caudales y la parte anterior ancha y con un extremo ligeramente puntiagudo y recargado hacia un extremo, posee dos vacuolas contráctiles con canales cortos, una en la parte anterior y otra en la parte posterior, además, de presentar tricocistos ocupando el borde interno del cuerpo (Figura 29. A-E). Macronúcleo elipsoidal y cuatro micronúcleos cercanos al macronúcleo (Figura 29. F, G).

Comentarios taxonómicos:

Wichterman (1986) menciona que *Paramecium polycaryum* posee dos vacuolas contráctiles una en la parte anterior y la segunda en la parte posterior, cada una con canales radiales, un macronúcleo compacto y elipsoidal cerca de la parte media del cuerpo, mientras que los micronúcleos pueden ser de uno hasta ocho, siendo cuatro el número más común, coincidiendo con lo encontrado y descrito para el ciliado identificado. En cuanto al número de micronúcleos, en esta población se presentaron cuatro micronúcleos coincidiendo con la cantidad común mencionada por Wichterman (1986). Przybos y colaboradores (2019) indican que los canales de las vacuolas contráctiles son cortos y delgados, concordando nuevamente con lo observado en los individuos encontrados. Por otro lado, Wenrich (1928) y Fokin (2010) mencionan que la especie presenta un tamaño de entre 70 μm a 110 μm y presenta hasta cinco micronúcleos, donde la mayoría de las veces solo presenta tres, en este caso, los individuos de esta tesis coincidieron únicamente con el tamaño mencionado por los autores.

En México esta especie se ha registrado únicamente en el estado de Puebla (Potekhin y Mayén-Estrada, 2020), sin embargo, los autores no presentan una descripción de la especie. Esta tesis representa el primer registro de esta especie en el estado de Oaxaca.

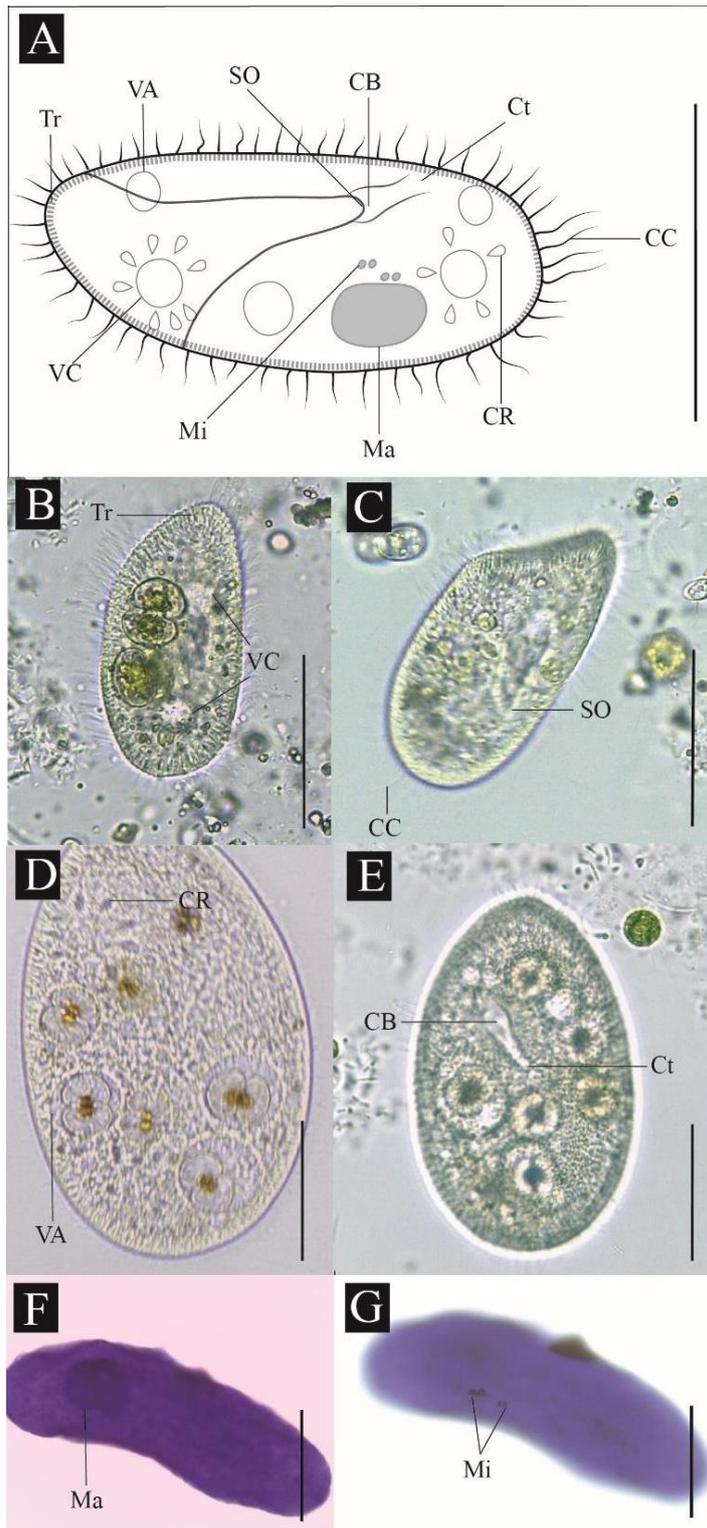


Figura 29. *Paramecium polycaryum*. (A) Representación esquemática de la vista ventral. (B-E) Vista ventral de diferentes individuos observados *in vivo*. (F-G) Individuos después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **CB**- cavidad bucal, **CC**- cilios caudales, **CR**- canales radiales, **Ct**- citostoma, **Ma**- macronúcleo, **Mi**- micronúcleo, **SO**- surco oral, **Tr**- tricocistos, **VA**- vacuola alimenticia, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μm (A-E) y 20 μm (F y G).

***Paramecium* sp.**

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 135.9 µm de largo x 42.3 µm de ancho. Cuerpo alargado y elipsoidal con la parte anterior y posterior redondeadas, en el extremo posterior posee cilios caudales, así como una vacuola contráctil. Cerca de la parte media del cuerpo se encuentra la cavidad bucal, mientras que todo el borde interno del cuerpo se encuentra ocupado por tricocistos (Figura 30).

Comentarios taxonómicos:

El género *Paramecium* dependiendo de la forma del cuerpo que se presente se puede separar en dos grupos: “aurelia” y “bursaria”, el primer grupo se caracteriza por poseer el cuerpo alargado o con forma de cigarro, mientras que el segundo presenta un cuerpo compacto y truncado en el extremo anterior (Fokin, 2010). El grupo “aurelia” está compuesto por las especies *P. caudatum*, *P. aurelia* (complejo) Sonneborn, 1975, *P. micronucleatum* Powers and Mitchel, 1910, *P. jenningsi* Diller & Earl, 1958, *P. wichtermani* Mohammed & Nashed, 1968–1969 y *P. shewiakoffi* las cuales se pueden diferenciar por su morfología, la cantidad de micronúcleos, y parcialmente por el número de canales radiales y el tamaño de la célula (Wichterman, 1986; Fokin, 2010). *Paramecium jenningsi*, *P. wichtermani* *P. shewiakoffi* han sido registradas únicamente en Asia, mientras que *P. caudatum*, *P. aurelia* (complejo) y *P. micronucleatum* han sido registradas en los cinco continentes. *Paramecium caudatum* puede llegar a medir de 170 µm a 290 µm, *P. aurelia* (complejo) de 120 µm a 170 µm y *P. micronucleatum* entre 200 µm y 250 µm (Fokin, 2010). A pesar de que el tamaño de nuestros organismos coincidió con *P. aurelia* (complejo), es necesario obtener información respecto al número de micronúcleos para realizar una identificación a nivel de especie.



Figura 30. *Paramecium* sp. (A y B). Vista ventral del mismo individuo observado *in vivo*. Abreviaturas: **CB**- cavidad bucal, **CC**- cilios caudales, **Tr**- tricocistos, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 20 μ m.

Pleurostomatida

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 72.6 μm de largo x 22 μm de ancho. El cuerpo es alargado, de forma lanceolada y el extremo apical se extiende ligeramente hacia un costado, en el borde interno posee tricocistos que comienzan en la parte anterior y finalizan en la parte media del cuerpo mientras que en la parte posterior presenta una vacuola contráctil (Figura 31. A-C). Por último, el micronúcleo se divide en dos esferas y se ubica en la parte central del ciliado (Figura 31. D).

Comentarios taxonómicos:

El orden Pleurostomatida se puede dividir en 12 géneros que se diferencian por las filas ciliares derechas de la parte anterior del cuerpo, la distribución de los tricocistos de la hendidura oral, la forma de la región anterior y la sutura post oral, por lo que son necesarias diferentes técnicas donde se resalten detalles morfológicos además de datos moleculares, ya que la información disponible sobre la morfología *in vivo* es escasa, dando lugar a confusiones en la taxonomía a nivel de familia, género y especie (Foissner, 1984; Zang *et al.*, 2022). Debido a la falta de técnicas, así como de fotografías *in vivo*, no fue posible realizar una identificación específica para el ciliado encontrado.

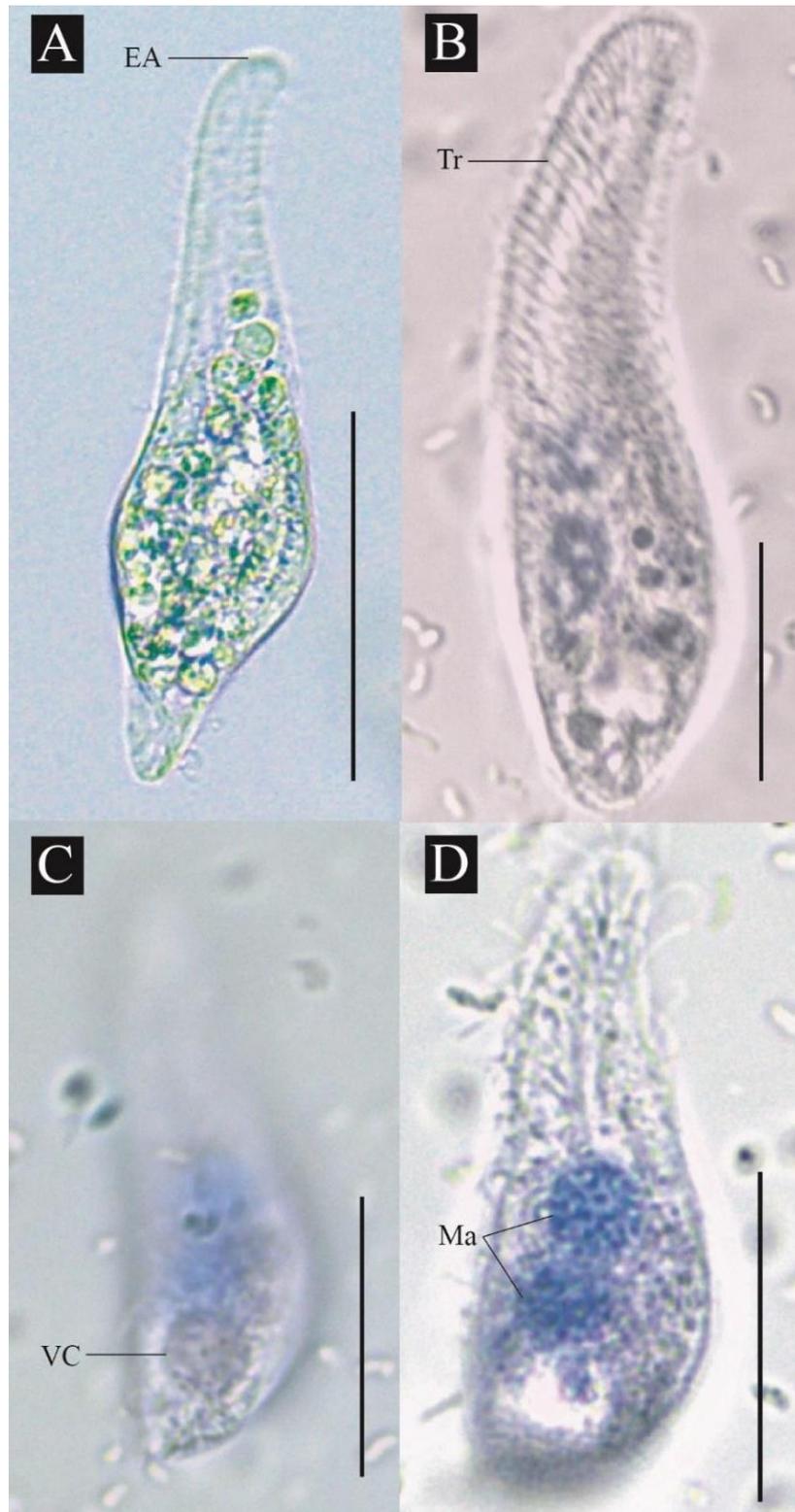


Figura 31. Pleurostomatida. **(A-C)** Vista ventral de diferentes individuos observados *in vivo*. **(D)** Individuo teñido con colorante cristal violeta. Abreviaturas: **EA**- extremo apical, **Ma**- macronúcleo, **Tr**- tricocistos, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μm (A) y 20 μm (B-D).

Pseudovorticella cf. monilata

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 69.8 μm de largo x 50 μm de ancho. Ciliado de cuerpo similar al de una campana con los bordes y la superficie exterior de aspecto costroso o verrugoso, el disco peristomial se eleva e inclina ligeramente hacia un costado por lo que el labio peristomial sigue dicha forma, mientras que los cilios peristomiales se ubican a los costados extremos del labio y son fáciles de reconocer junto con la vacuola contráctil (Figura 32. A-D). El pedúnculo presenta mionema y se puede contraer en forma de hélice (Figura 32. A-B), mientras que el macronúcleo tiene una forma de “J” que se extiende hacia adelante con una longitud de 194 μm (Figura 32. F). Se encontró tanto de forma solitaria como formando pseudocolonias (Figura 32. E).

Comentarios taxonómicos:

Pseudovorticella monilata puede medir 40-80 μm x 35-60 μm , normalmente 60 x 45 μm , la forma del cuerpo es similar al de una campana, presenta dos vacuolas contráctiles la primera debajo del collar peristomial y la segunda cercana al infundíbulo, la película posee muchas costras fácilmente visibles, el collar peristomial sobresale del margen del cuerpo, el pedúnculo se contrae de forma helicoidal mientras que el macronúcleo presenta una forma de “J” que se extiende a lo largo del cuerpo y el extremo posterior se extiende ligeramente hacia adelante, por último, es una especie que se puede encontrar de forma solitaria o formando pseudocolonias (Foissner *et al.*, 1992). Por otro lado, Dinçer (2016) difiere en el tamaño y menciona que el pedúnculo posee mionema, el vestíbulo ocupa cerca de la mitad del cuerpo y la película presenta glóbulos muy pequeños. Muchas de las características descritas por ambos autores fueron observadas en los individuos encontrados, como el tamaño, la forma del cuerpo, la textura de la película, el collar peristomial, el pedúnculo y mionema así como la forma en que se contraen y la forma del macronúcleo, sin embargo, el tamaño de nuestros individuos se ajusta más al mencionado por Foissner y colaboradores (1992).

Debido a que no se pudieron observar las vacuolas contráctiles, la proporción del vestíbulo, así como la cantidad de líneas transversales se decidió confrontar la especie con *Pseudovorticella monilata* proponiendo realizar técnicas de protargol que nos permitan la identificación.

En México esta especie se ha registrado en Ciudad Universitaria, Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 2009); en la Laguna de Tamiahua, Veracruz (Martínez-Murillo, 1997) y en la Bahía Mesquitito Baja California (Reyes-Santos, 2001). Los individuos de esta tesis coinciden con las características morfológicas mencionadas por Martínez-Murillo (1997) sin embargo, su población posee un tamaño menor con relación a los organismos de esta tesis. En comparación con la población de Baja California (Reyes-Santos (2001) nuestros individuos presentan una longitud mayor, el resto de la morfología no presenta ninguna diferencia con la descripción de la población mencionada. Este trabajo representa el primer registro de esta especie en el estado de Oaxaca.

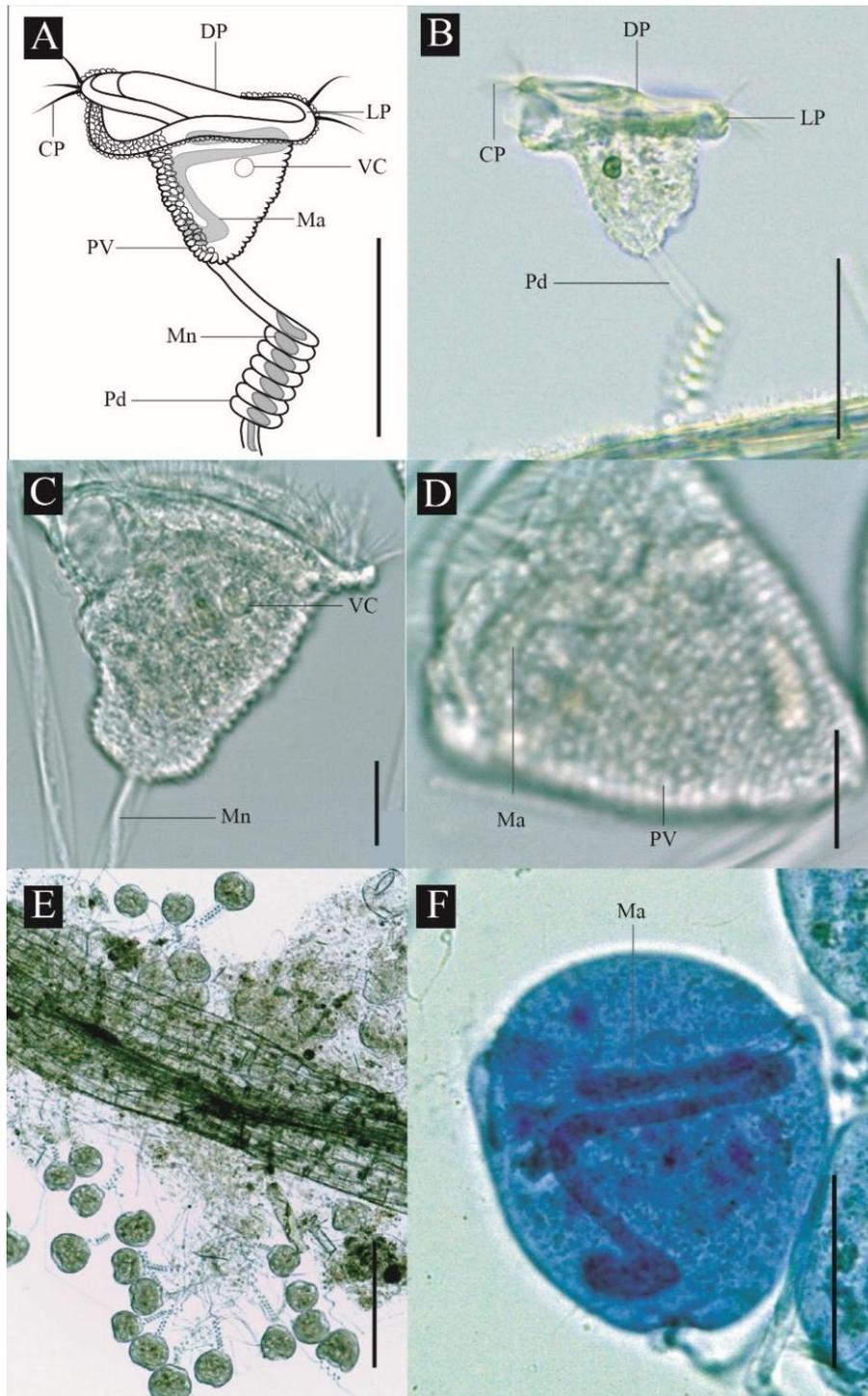


Figura 32. *Pseudovorticella* cf. *monilata*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. (B-D) Vista lateral de diferentes individuos observados *in vivo*. (E) Formación de pseudocolonia sobre un filamento orgánico. (F) Individuo teñido con colorante cristal violeta. Abreviaturas: **CP**- cilios peristomiales, **DP**- disco peristomial, **LP**- labio peristomial, **Ma**- macronúcleo, **Mn**- mionema, **Pd**- pedúnculo, **PV**- película verrugosa, **VC** vacuola contráctil. Escala: 200 μm (E), 50 μm (A, B y F) y 20 μm (C y D).

Spirostomum minus

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 798 μm de largo x 45.2 μm de ancho. Cuerpo flexible y alargado con la parte anterior redondeada mientras que la parte posterior es recta, presenta cinetias somáticas a lo largo del cuerpo y al contraerse el cuerpo pueden observarse dispuestas en forma de espiral, además, entre las cinetias posee gránulos corticales con una distribución 2-4 (Figura 33. A, B, E, G y H). El peristoma se ubica en la mitad anterior ocupando cerca del 50% del tamaño total del cuerpo y en la región posterior presenta una vacuola contráctil con un canal lateral que se extiende hacia la región anterior (Figura 33. A y C). El macronúcleo es de tipo moniliforme y se compone por veintitrés nódulos (Figura 33. D y F).

Comentarios taxonómicos:

Chi y colaboradores (2019) mencionan que los caracteres que definen a *Spirostomum minus* es que presenta un tamaño de 300 hasta 900 μm cuando se encuentra completamente extendido, la porción del cuerpo que ocupa el peristoma es entre el 30 y el 65%, la vacuola contráctil es terminal con un canal que se extiende hacia la región anterior, los gránulos corticales presentan un arreglo de tipo 2-4 y se ubican entre las cinetias, el macronúcleo es moniliforme con 5 a 50 nódulos. Fernandes y Silva-Neto (2013), así como Boscaro y colaboradores (2014) difieren en cuanto al porcentaje que ocupa el peristoma y mencionan que ocupa la mitad de la longitud del cuerpo, así como en la cantidad de nódulos del macronúcleo, donde son de 5 hasta 25 nódulos. Por otro lado, Foissner y colaboradores (1992) mencionan que el tamaño de la especie puede ir de los 300 μm hasta los 800 μm y el macronúcleo puede presentar entre 15 a 20 nódulos, además de hasta 30 cinetias somáticas dispuestas ligeramente como espiral. Los ciliados encontrados presentaron algunas de las características mencionadas por los autores, como la posición de la vacuola contráctil, el arreglo de los gránulos corticales y el tipo de macronúcleo (Foissner *et al.*, 1992; Fernandes y Silva-Neto, 2013; Boscaro *et al.*, 2014; Chi *et al.*, 2019), sin embargo, el porcentaje del peristoma en nuestra población, así como el número de nódulos presentes en el macronúcleo (23 nódulos) coincidieron más con lo mencionado

por Boscaro y colaboradores (2014). A pesar de que todos los autores coinciden en el arreglo de los gránulos corticales, visualmente el acomodo de los gránulos coincidió más con los presentados por Chi y colaboradores (2019).

En México esta especie se ha registrado en La Cantera, Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 2009); en el Lago Chignahuapan, Estado de México (Méndez-Sánchez *et al.*, 2018) y en la Presa “La Azucena”, Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017). Los individuos del presente trabajo presentan una longitud menor en comparación con la población de Méndez-Sánchez (2017). El resto de los caracteres morfológicos de la especie coincide con las poblaciones del Estado de México y Oaxaca.

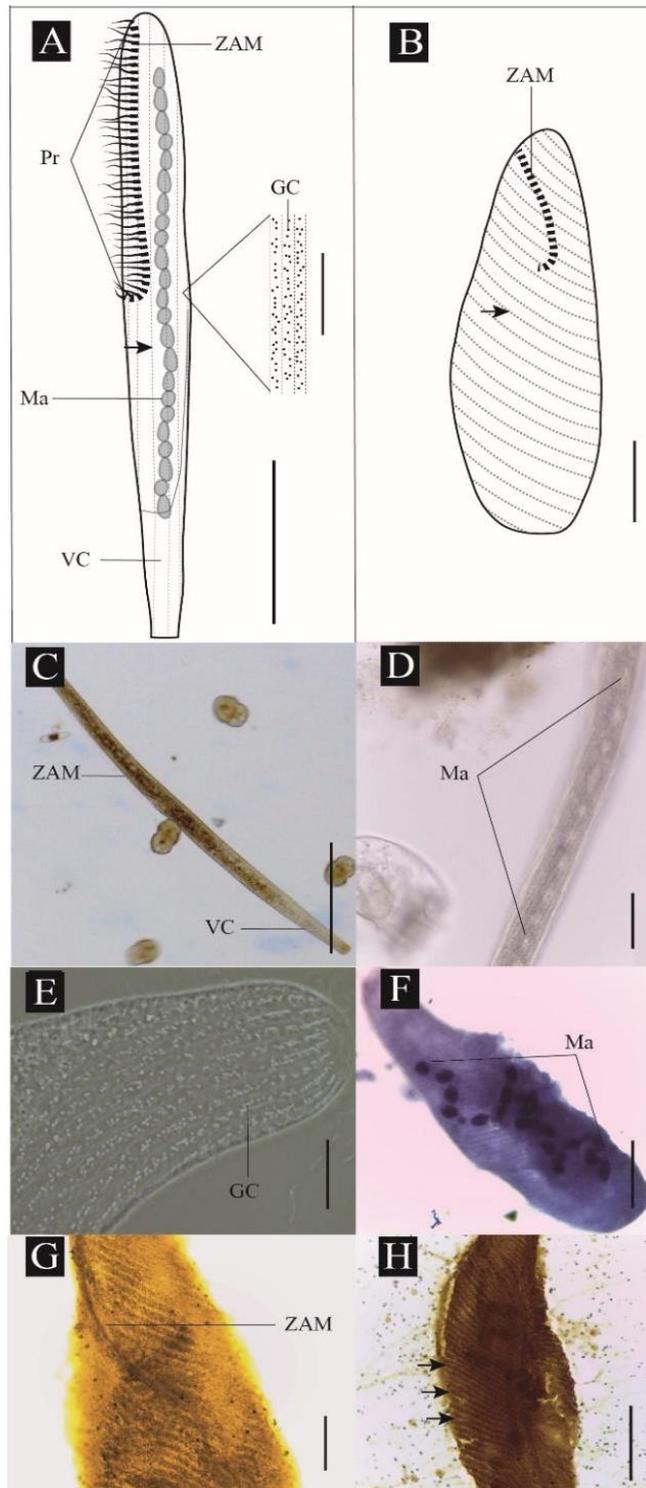


Figura 33. *Spirostomum minus*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. (B) Representación esquemática de un individuo compactado. Las cinetias somáticas se señalan con una flecha negra. (C-D) Vista lateral del mismo individuo observado *in vivo*. (E) Vacuola contráctil con filtro negativo para resaltar los gránulos corticales. (F) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. (G-H) Individuos después de impregnación con plata en “seco” de Klein. Las cinetias somáticas se señalan con flechas negras. Abreviaturas: **GC**- gránulos corticales, **Ma**- macronúcleo, **Pr**- peristoma, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 200 μm (A y C), 50 μm (B, D, F y H) y 20 μm (E y G).

Spirostomum teres

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 266.7 μm de largo x 23.7 μm de ancho. Ciliado de cuerpo alargado y flexible, con la parte anterior redondeada y la parte posterior ligeramente recta, el peristoma es corto ocupando menos del 50% del tamaño total del cuerpo y se ubica en la región anterior del mismo, al contrario de la vacuola contráctil que se ubica en la parte posterior del organismo (Figura 34. A, C y D). Presenta cinetias somáticas que se extienden longitudinalmente en todo el cuerpo, sin embargo, al contraerse el cuerpo lucen como un espiral (Figura 34. B y F). El macronúcleo se ubica en la parte media del cuerpo y posee una forma compacta y ovalada (Figura 34. E).

Comentarios taxonómicos:

Spirostomum teres se caracteriza por presentar un tamaño de 150-600 μm x 20-75 μm , el peristoma puede ocupar del 30% hasta el 50% del tamaño total de la célula, los gránulos corticales presentan un arreglo 2-5, presenta una vacuola contráctil con un canal largo en la parte posterior del cuerpo y el macronúcleo es elipsoidal y se ubica al centro del cuerpo (Boscaro *et al.*, 2014; Fernandes y Silva-Neto, 2013; Chi *et al.* 2019). Dichas características coincidieron con las observadas, sin embargo, el canal de la vacuola contráctil, así como la disposición de los gránulos corticales no fueron observados.

Spirostomum teres se ha registrado en dos localidades de la Ciudad de México (Nomdedeu y López-Ochoterena, 1988 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; Aladro-Lubel *et al.*, 2009; Lugo-Vázquez *et al.*, 2017); en el Lago Chignahuapan, Estado de México (Méndez-Sánchez *et al.*, 2018); en el Lago Analco, así como en la Presa “La Azucena”, Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017). La longitud mencionada por Méndez-Sánchez (2017) es mayor en comparación con la de los organismos de esta tesis, a pesar de la diferencia en longitud ambas poblaciones coinciden con el resto de las características.

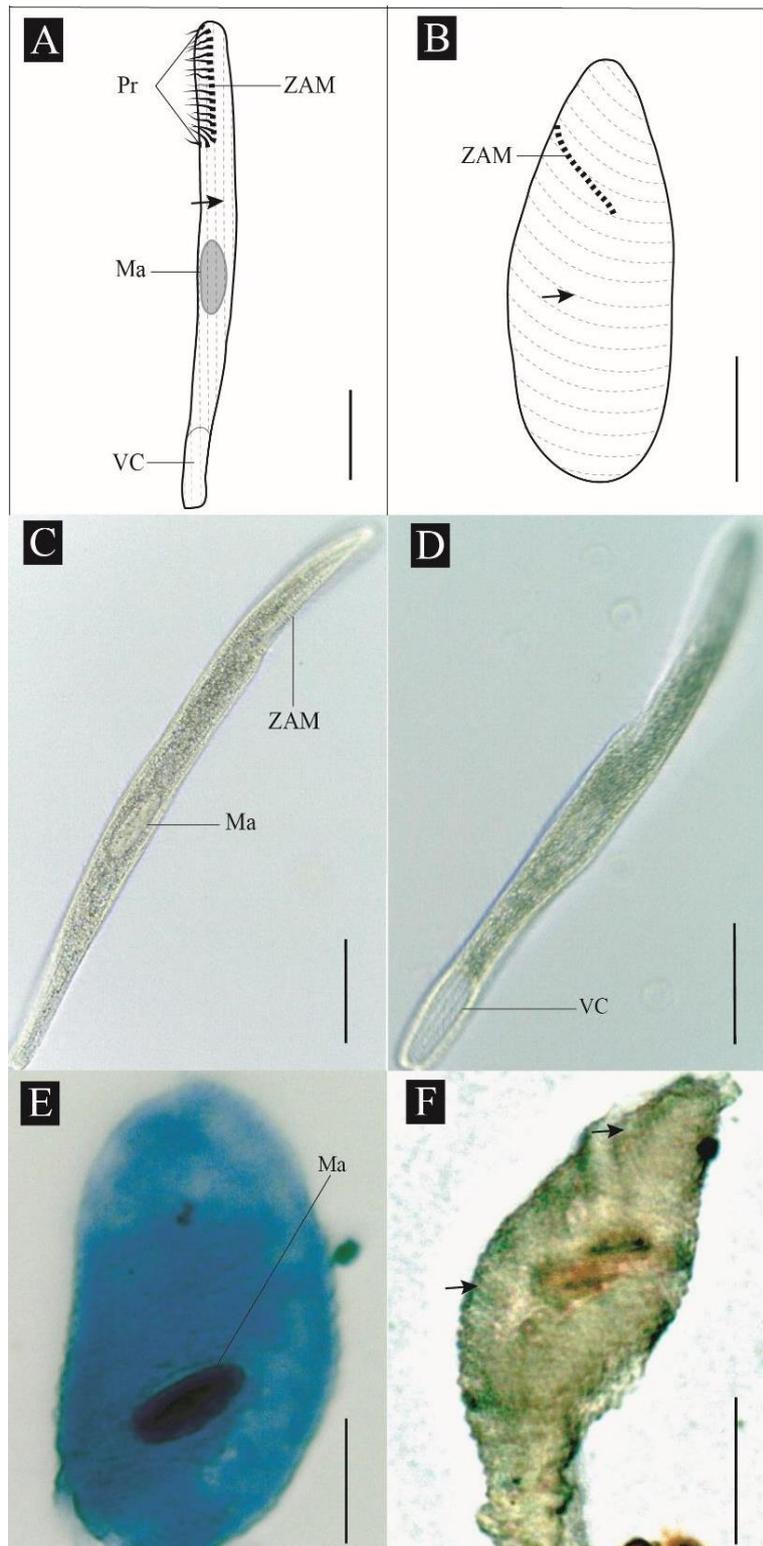


Figura 34. *Spirostomum teres*. (A-B) Representación esquemática de la vista ventral y dorsal. Las cinetias somáticas se señalan con una flecha negra. (C-D) Vista ventral de diferentes individuos observados *in vivo*. (E) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. (F) Individuos después de impregnación con plata en “seco” de Klein. Abreviaturas: **Ma**- macronúcleo, **Pr**-peristoma, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 50 μm (A, C y D) y 20 μm (B, E y F).

Stentor coeruleus

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 1,454.8 μm de largo. Ciliado con forma de trompeta o embudo con el citoplasma de color azul-verdoso debido a los gránulos corticales que presenta entre las cinetias somáticas, en la región anterior se ubica la vacuola contráctil y la cavidad bucal acompañada de la zona adoral de membranelas, mientras que en la parte posterior presenta un pie adhesivo que le ayuda a la fijación en diferentes sustratos, por último, el macronúcleo es de tipo moniliforme (Figura 35).

Comentarios taxonómicos:

De acuerdo con Foissner y Wolf (1994) las principales características para determinar las especies del género son: la presencia o ausencia de endosimbiosis, el aparato nuclear y la pigmentación de los gránulos corticales, aunque existen otros caracteres secundarios que pueden ayudar con la identificación de la especie como el tamaño, la forma, número de cinetias somáticas y peristomales, así como la ubicación geográfica. Las características de los individuos de esta tesis coincidieron con las de *Stentor coeruleus* ya que no mantiene relaciones de simbiosis, el núcleo es de tipo moniliforme y los gránulos corticales son muy evidentes debido a que son de color verdeazulado (Slabodnick y Marshall, 2014). Además, Foissner y colaboradores (1992) menciona que la forma del cuerpo es similar a la de un embudo, presenta una vacuola contráctil cercana a la cavidad bucal, mientras que la zona adoral de membranelas rodea y llega hasta el citostoma formando un espiral coincidiendo con lo encontrado en los ciliados del presente trabajo.

En México esta especie se ha registrado en La Cantera, Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 2009); en tres localidades del Estado de México (Méndez-Sánchez, 2017; Méndez-Sánchez *et al.*, 2018); en el Lago Tziscáo y Lago Montebello, Chiapas y en el Lago Analco y Presa “La Azucena”, Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017). Aunque la longitud de los organismos identificados en esta tesis es mayor a la indicada por Méndez-Sánchez (2017), el resto de la morfología coincide con la mencionada por el autor.

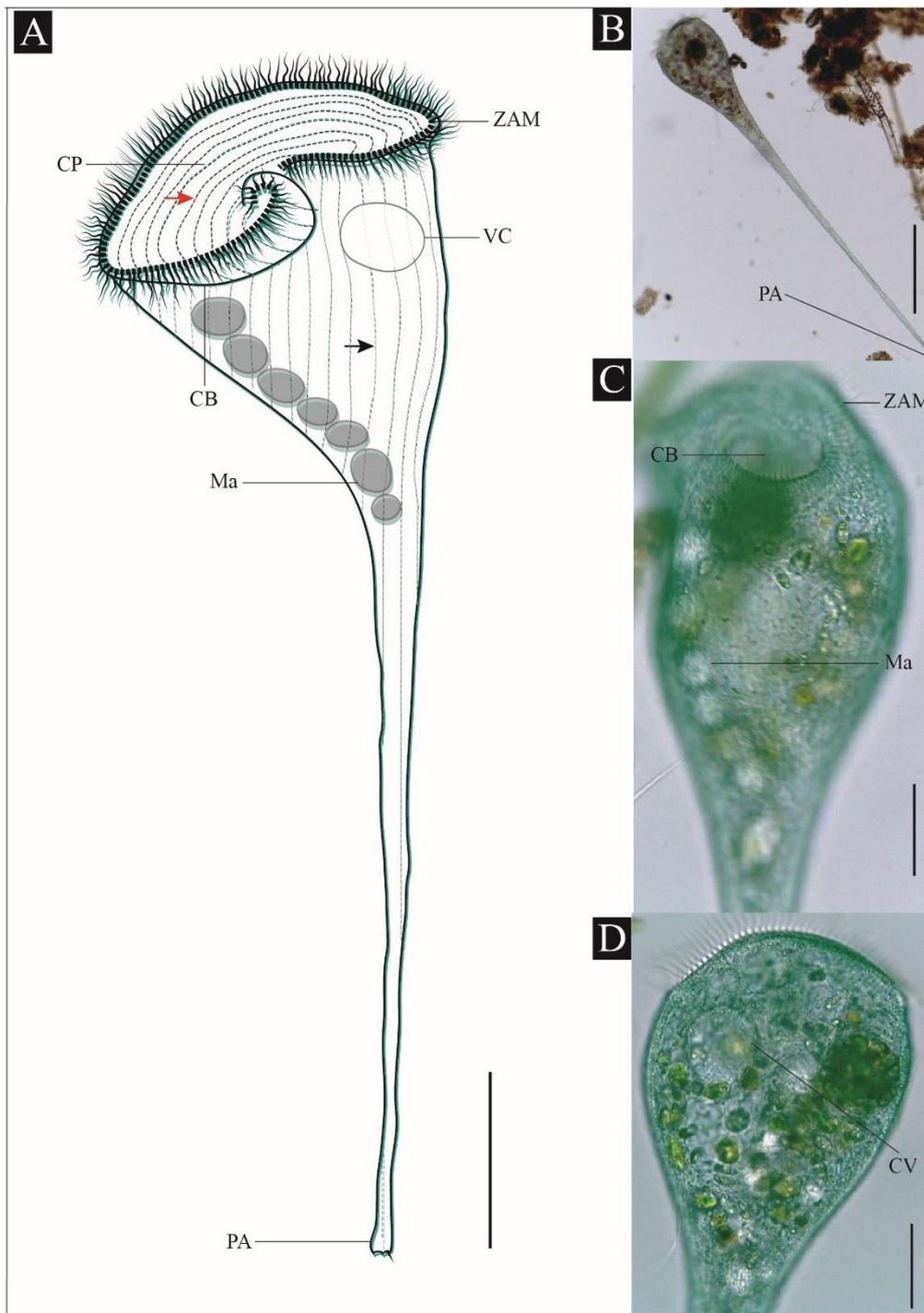


Figura 35. *Stentor coeruleus*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. Las cinetias somáticas se señalan con una flecha negra y las cinetias peristomiales se señalan con una flecha roja. (B) Vista lateral de un individuo observado *in vivo* con una coloración verdeazulada muy evidente. (C-D) Vista lateral de la parte anterior del mismo individuo observados *in vivo*. Abreviaturas: **CB**-cavidad bucal, **CP**- campo peristomial, **Ma**- macronúcleo, **PA**- pie adhesivo, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 200 μ m (A-B) y 50 μ m (C-D).

Stentor roeselii

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 636. 6 µm de largo. Ciliado con forma de trompeta o embudo, el citoplasma no presenta coloración, el citostoma se ubica en la parte anterior más ancha de la célula y se ubica rodeado por la zona adoral de membranelas, también, presenta un pie adhesivo en la parte posterior que le sirve para adherirse a las superficies (Figura 36. A-B). Cerca del margen derecho presenta una vacuola contráctil con un canal que se extiende hacia la región posterior (Figura 36. C). El macronúcleo vermiforme que se alarga longitudinalmente que inicia en la parte anterior y finaliza en la región posterior (Figura 36. E-F).

Comentarios taxonómicos:

De acuerdo con Foissner y Wolf (1994) *Stentor roeselii* no presenta relación de simbiosis, su macronúcleo presenta una forma de cordón que abarca desde el citostoma hasta el extremo posterior del cuerpo, los gránulos corticales son incoloros y posee una vacuola contráctil con canal, coincidiendo con lo encontrado en los individuos de esta población. Foissner y colaboradores (1992) mencionan que esta especie puede llegar a presentar una loriga hialina, lo cual concuerda con lo encontrado en el presente trabajo, sin embargo, Foissner y colaboradores (1994) menciona que la loriga puede o no encontrarse dependiendo de las condiciones del agua, en el presente trabajo se encontraron algunos individuos (<4) con una lóriga hialina (Figura 36. D).

Stentor roeselii se ha registrado en el Río La Magdalena, Ciudad de México (Nomdedeu y López-Ochoterena, 1988 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006); en dos lagos y un manantial del Estado de México (Méndez-Sánchez, 2017; Méndez-Sánchez *et al.*, 2018); en la Laguna de Tetecomulco, Hidalgo (Aladro-Lubel y Sánchez, 2005 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006); en el Lago Montebello, Chiapas y en Oaxaca, la especie se ha registrado en la Presa “La Azucena” (Méndez-Sánchez, 2017) y en la granja piscícola de traspatio “La Tilapia Zimateca” (Rivas-Beltrán *et al.*, 2023). El tamaño mencionado por Méndez-Sánchez (2017) es menor al de los individuos identificados, por otro lado, la longitud mencionada por Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) duplica el tamaño de los ciliados de esta tesis, el resto de

las características mencionadas por ambos autores coinciden con lo encontrado en esta tesis.

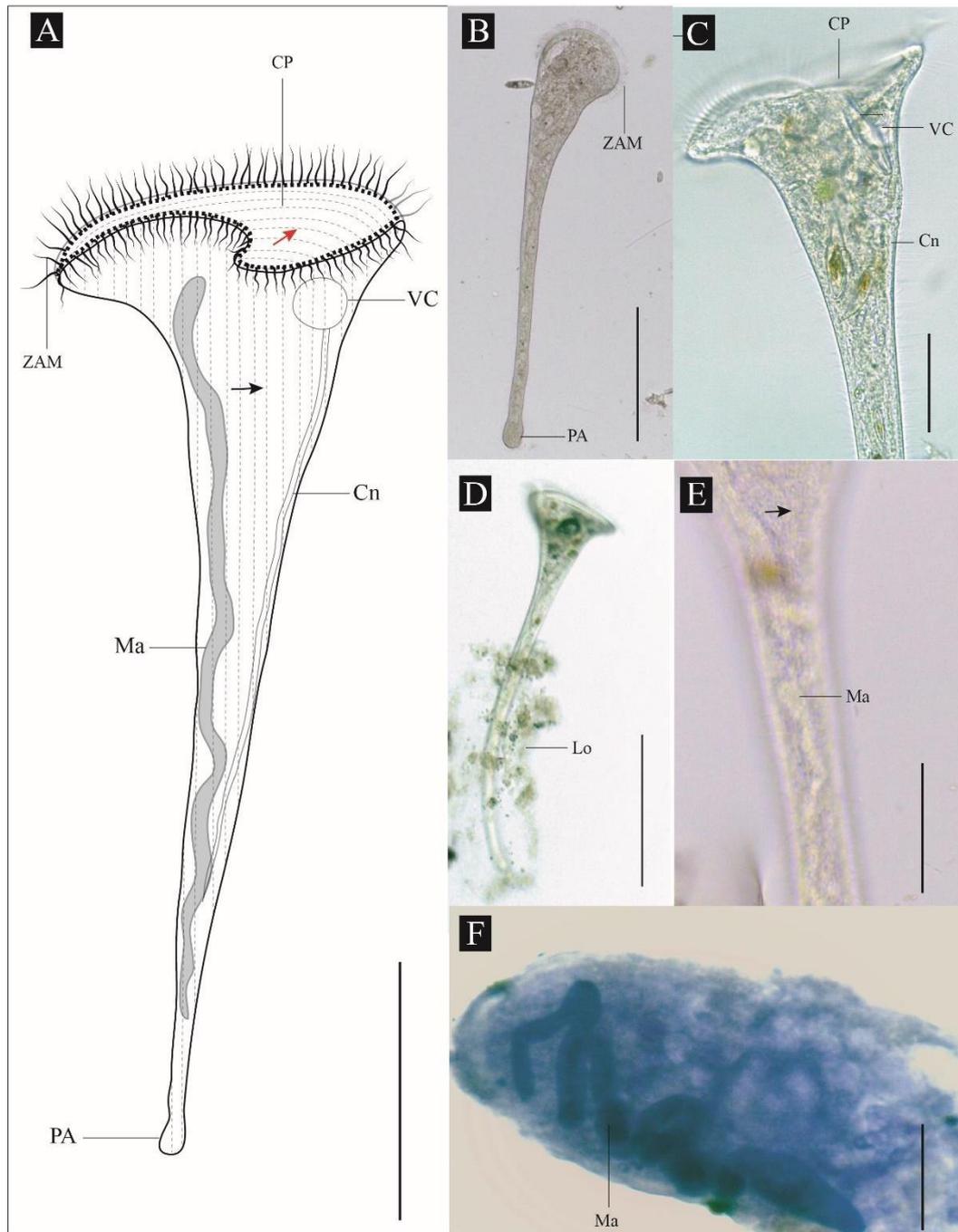


Figura 36. *Stentor roeseli*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. Las cinetias somáticas se señalan con una flecha negra y las cinetias peristomiales se señalan con una flecha roja. (B) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. (C) Vista lateral de la parte anterior de un individuo observado *in vivo*. (D) Vista lateral de un individuo con loriga en la parte posterior. (E) Vista lateral de la parte posterior de un individuo observado *in vivo*. (F) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. Las cinetias somáticas se señalan con una flecha negra. Abreviaturas: **Cn**- canal, **CP**-campo peristomial, **Lo**- loriga, **Ma**- macronúcleo, **PA**- pie adhesivo, **VC**- vacuola contráctil, **ZAM**- zona adoral de membranelas. Escala: 200 μm (A, B, D), 50 μm (C-E) y 20 μm (F).

Suctoria

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 63.2 μm de largo x 42.1 μm de ancho, longitud del pedúnculo *in vivo* de 65.1 μm . Ciliado sésil con el citoplasma de color grisáceo, en la parte posterior del cuerpo presenta un pedúnculo sin mionema, mientras que el resto del cuerpo es esférico, sobre la superficie del cuerpo cuenta con varios cilios alargados similares a tentáculos (Figura 37).

Comentarios taxonómicos:

La subclase Suctoria cuenta con aproximadamente 560 especies distribuidas en diversos ambientes, presenta variedad de formas y tamaños, así como tentáculos que pueden ocupar toda la superficie de la célula o encontrarse en pequeñas agrupaciones, además de que el pedúnculo no es contráctil (Ma *et al.*, 2021). Sin embargo, muchas de las especies no logran ser identificadas a nivel de género o especie debido a la falta de información y a que las clasificaciones difieren entre los autores (Dovgal, 2002; Dovgal *et al.*, 2008). Debido a lo anterior y aunado a que solo se registró un individuo, no fue posible llegar a un nivel más avanzado de identificación.

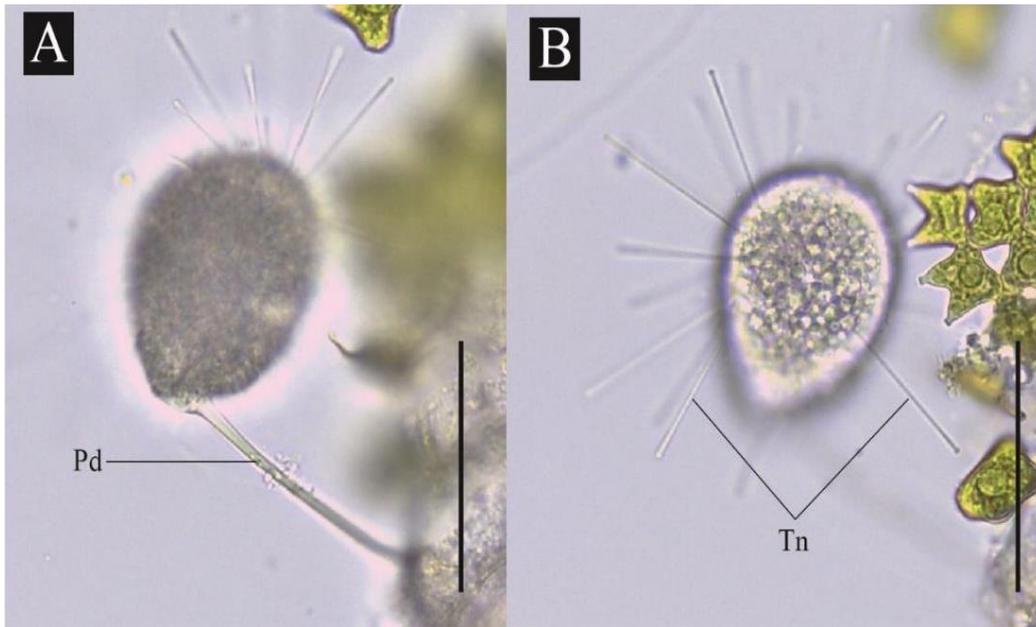


Figura 37. Suctorina. (A-B). Vista lateral del mismo individuo observado *in vivo*. Abreviaturas: **Pd**-pedúnculo, **Tn**-tentáculos. Escala: 50 μm .

Urocentrum turbo

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 65.8 µm de largo x 32.1 µm de ancho. Cuerpo con forma similar a un “8”, en la parte anterior presenta un cinturón de cilios y en la región ecuatorial presenta un segundo cinturón, el borde interno de todo el cuerpo se encuentra ocupado por tricocistos y en la parte posterior posee una vacuola contráctil y un cirro caudal (Figura 38. A-B). El macronúcleo se ubica en la región posterior con una forma de herradura horizontal (Figura 38. C-D).

Comentarios taxonómicos:

Kim y Jung (2017) mencionan que *Urocentrum* es un género monotípico fácil de reconocer debido a que la parte anterior del cuerpo es ligeramente más ancha que la parte posterior, mientras que la parte media del cuerpo es más delgada, presenta una banda ciliar anterior y una banda ciliar ecuatorial, además de un cirro caudal. Por otro lado, Foissner (1994) menciona que *U. tubo* presenta un tamaño de hasta 80 µm x 55 µm la mayoría de las veces, el macronúcleo es en forma de herradura y se ubica en la parte posterior del cuerpo y a la mitad del macronúcleo se ubica el micronúcleo, también tiene una vacuola contráctil con conductos colectores, numerosos extrusomas y el citostoma se ubica en la parte ecuatorial, coincidiendo mayormente con lo encontrado en esta población, aunque los canales de la vacuola contráctil y el micronúcleo no fueron observados.

Urocentrum turbo se ha registrado en cuatro localidades de la Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 2009; López-Ochoterena, 1965; Lugo-Vázquez *et al.*, 2017; Nomdedeu y López-Ochoterena, 1988 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006); en tres localidades del Estado de México (Méndez-Sánchez, 2017; Méndez-Sánchez *et al.*, 2018); en dos localidades de Chiapas (Méndez-Sánchez, 2017); en una laguneta en la ruta 108, Veracruz (Hernández-Anaya, 1981) y en tres localidades de Oaxaca (Méndez-Sánchez, 2017; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023). El tamaño de los organismos identificados coincide con el intervalo mencionado para la población del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México (López-Ochoterena, 1965), mientras que, en comparación con las poblaciones de Veracruz y Oaxaca, los organismos de esta

tesis presentan un tamaño mayor (Hernández-Anaya, 1981; Méndez-Sánchez, 2017; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023).

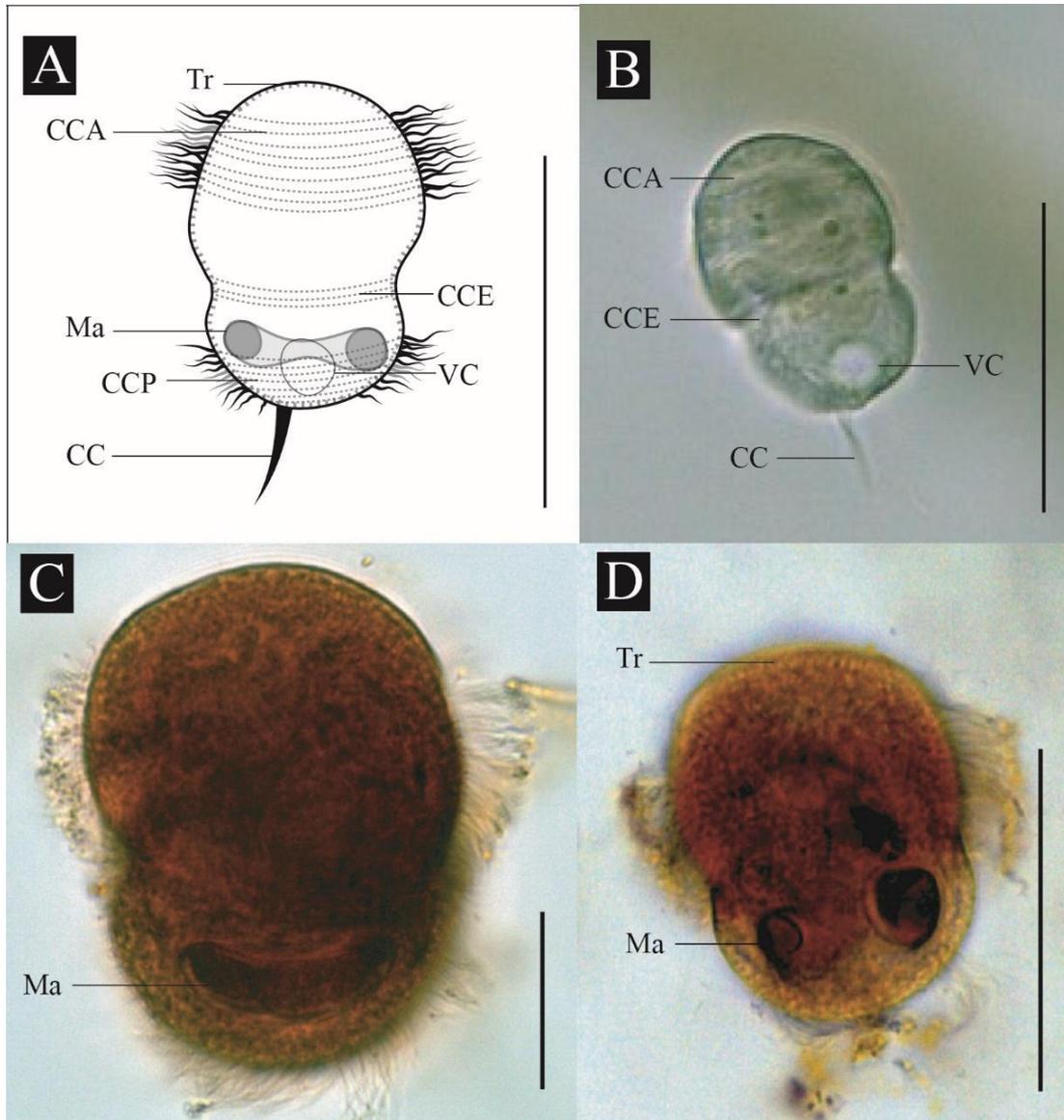


Figura 38. *Urocentrum turbo*. (A) Representación esquemática de la vista lateral (B) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. (C-D) Vista lateral de diferentes individuos teñidos con colorante safranina. Abreviaturas: **CC**- cilio caudal, **CCA**- cinturón de cilios anteriores, **CCE**- cinturón de cilios ecuatoriales, **CCP**- cinturón de cilios posteriores, **Ma**- macronúcleo, **Tr**- tricocistos, **VC**-vacuola contráctil. Escala: 50 μm (A, B y D) y 20 μm (C).

Vorticella campanula

Descripción:

Tamaño *in vivo* del zooide de 91.3 μm x 79.2 μm . Ciliado con típica forma de peritrico, es decir, con forma de campana invertida, el citoplasma presenta un color grisáceo que impide ver estructuras como el núcleo o vacuolas contráctiles, sin embargo, los cilios peristomiales y el labio peristomial se logran distinguir fácilmente (Figura 39. A-B). El pedúnculo es contráctil y presenta gránulos en el mionema (Figura 39. C), mientras que el macronúcleo tiene forma de “J” que ocupa gran parte de la célula (Figura 39. D). Se encontró tanto de forma solitaria como formando pseudocolonias (Figura 39. E)

Comentarios taxonómicos:

Vorticella campanula tiene forma de campana invertida o de sombrero, que puede encontrarse solitaria o formando pseudocolonias, normalmente posee un tamaño de 60 x 90 μm y el citoplasma presenta un color oscuro debido a la presencia de gránulos refractivos, por lo que las cinetias de la película no son evidentes. Aunado a lo anterior, el macronúcleo tiene forma de “J” que se extiende longitudinalmente y presenta una vacuola contráctil cercana al labio peristomial, este último es notoriamente ancho y sobresaliente, por último, presenta gránulos distribuidos a lo largo del mionema (Noland y Finley, 1931; Warren, 1986; Foissner *et al.*, 1992; Kim y Shao, 2016). Muchas de las características mencionadas como el color del citoplasma, el tamaño, la forma del macronúcleo, el labio peristomial, así como la presencia de gránulos en el mionema coincidieron con lo observado en la población de esta tesis. En cuanto a la posición de la vacuola contráctil, no pudo ser observada en los organismos debido a la densidad del citoplasma.

En México esta especie se ha registrado en tres localidades de la Ciudad de México (Castro-Gutiérrez, 1985; Moreno-Rodríguez, 1985; Rivera *et al.*, 1988; Luna-Pabello, 1993, Luna-Pabello *et al.* 1990, 1992, 1994, 1995, 1996 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; González-Labastida, 1995; Rodríguez-Rodríguez, 1996; Aladro-Lubel *et al.*, 2009); en San Juan de Ixhuatepec, Estado de México (Chilpa-Navarrete, 1998); en dos localidades de Veracruz (Aladro-Lubel *et al.*, 2006); en el Lago de Pátzcuaro,

Michoacán (Mayén-Estrada, 1997); en Bahía Mesquitito, Baja California (Reyes-Santos, 2001) y en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (Aladro-Lubel y Sánchez-Calderón, 2005 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006). En Oaxaca se ha registrado como epibionte en bivalvos (Aristeo-Hernández, 2017) y en la granja piscícola “La Tilapia Zimateca” (Rivas-Beltrán *et al.*, 2023). El zooide de los individuos identificados en esta tesis presenta un tamaño mayor en comparación con la población de Baja California (Reyes-Santos, 2001), la población de la Laguna de Tamiahua, y la población epibionte registrada en Oaxaca (Aristeo-Hernández, 2017), por el contrario, el zooide de nuestra población es ligeramente menor en cuanto a longitud en comparación con la población registrada en la granja piscícola (Rivas-Beltrán *et al.*, 2023) y en la población del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México (López-Ochoterena, 1965). A pesar de las diferencias en el tamaño entre los diferentes autores, el resto de las características son consistentes con las observadas en la población de esta tesis.

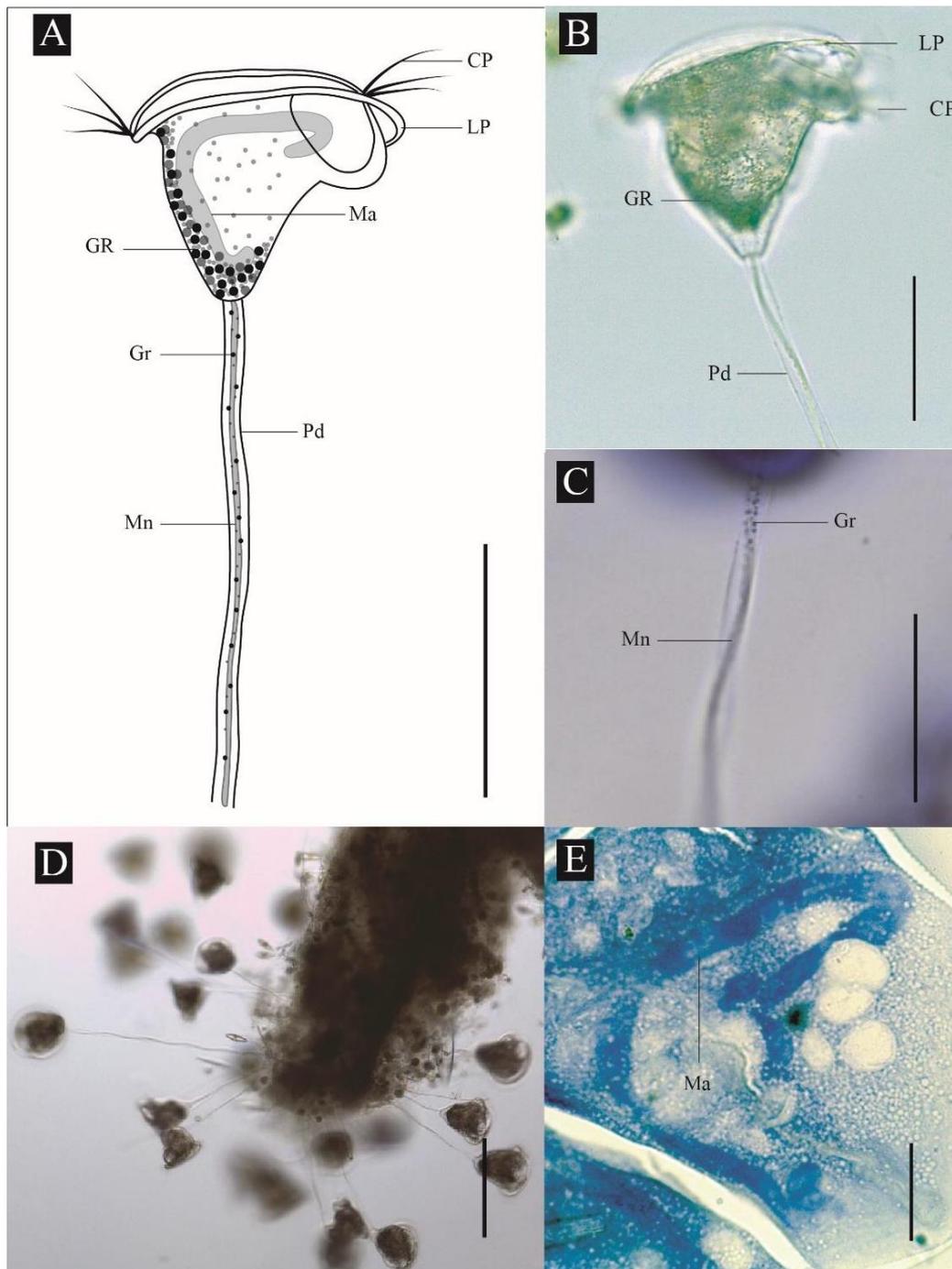


Figura 39. *Vorticella campanula*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. (B) Vista lateral de un individuo observado *in vivo*. (C) Vista lateral de la parte posterior de un individuo observado *in vivo*. (D) Formación de pseudocolonia sobre materia orgánica. (E) Individuo después de tinción con Hematoxilina de Harris. Abreviaturas: **CP**- cilios peristomiales, **GR**- gránulos refractivos, **Gr**- gránulos, **LP**- labio peristomial, **Ma**- macronúcleo, **Mn**- mionema, **Pd**- pedúnculo. Escala: 200 μm (D), 50 μm (A-C) y 20 μm (E).

Vorticella convallaria

Descripción:

Tamaño *in vivo* del zooide de 81.9 μm x 55.4 μm . Cuerpo con forma de campana invertida con la película finamente estriada, el disco peristomal se encuentra ligeramente oblicuo y elevado, cerca del labio peristomial presenta una vacuola contráctil en el costado derecho y varias vacuolas alimenticias distribuidas en todo el zooide (Figura 40. A-C). El pedúnculo es contráctil y con gránulos en el mionema (Figura 40. D). Por último, el macronúcleo tiene forma de “J” que se extiende de manera longitudinal (Figura 40. E).

Comentarios taxonómicos:

De acuerdo con Sun *et al.* (2013) el complejo *Vorticella convallaria* se compone por las especies: *V. convallaria*, *V. citrina* y *V. similis*. Noland y Finley (1931) indican que *V. similis* se puede identificar rápidamente debido a que el zooide presenta un tamaño de 60 x 37 μm , es translúcido y en ocasiones con gránulos grisáceos, además, sus vacuolas contráctiles no se logran observar fácilmente ya que presentan un tamaño pequeño. Foissner y colaboradores (1992) menciona que *V. citrina* difiere del resto de las especies del complejo debido a que presenta una coloración amarilla muy evidente, mientras que *V. convallaria* se caracteriza por presentar una película finamente estriada, el disco peristomial sobresaliente de forma cóncava y elevada, el macronúcleo en forma de “J”, una vacuola contráctil por debajo del peristoma, además de presentar gránulos en el mionema. Además, Noland y Finley (1931) mencionan la presencia de varias vacuolas alimenticias. Dichas características coincidieron con las observadas en los individuos identificados.

Vorticella convallaria se ha registrado en tres localidades de la Ciudad de México (Rico y López, 1986 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; Luna-Pabello, 1993; Luna-Pabello *et al.*, 1994, 1995 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; González-Labastida, 1995); en dos localidades del Estado de México (Rivera *et al.*, 1987; Chilpa-Navarrete, 1998); en la Laguna de Tecuitlapa, Puebla (Lugo-Vázquez, 1993); en la Laguna de Tamiahua, Veracruz (Luna-Pabello *et al.*, 1996 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; Martínez-Murillo,

1997; Martínez-Murillo y Aladro-Lubel, 1999); en la Bahía Mesquitito, Baja California (Reyes-Santos, 2001) y en Oaxaca como epibionte en bivalvos (Aristeo-Hernández, 2017). La población de esta tesis se encuentra dentro del intervalo de tamaño mencionado por Luna-Pabello (1993) para una de las poblaciones de la Ciudad de México, por otro lado, la población de Baja California (Reyes-Santos, 2001) presenta un tamaño menor con relación a la población identificada. En comparación con la población registrada en Oaxaca (Aristeo-Hernández, 2017) nuestros individuos presentan un tamaño menor. El resto de la morfología no presenta ninguna diferencia con la descripción de las poblaciones mencionadas (Luna-Pabello, 1993; Reyes-Santos, 2001; Aristeo-Hernández, 2017).

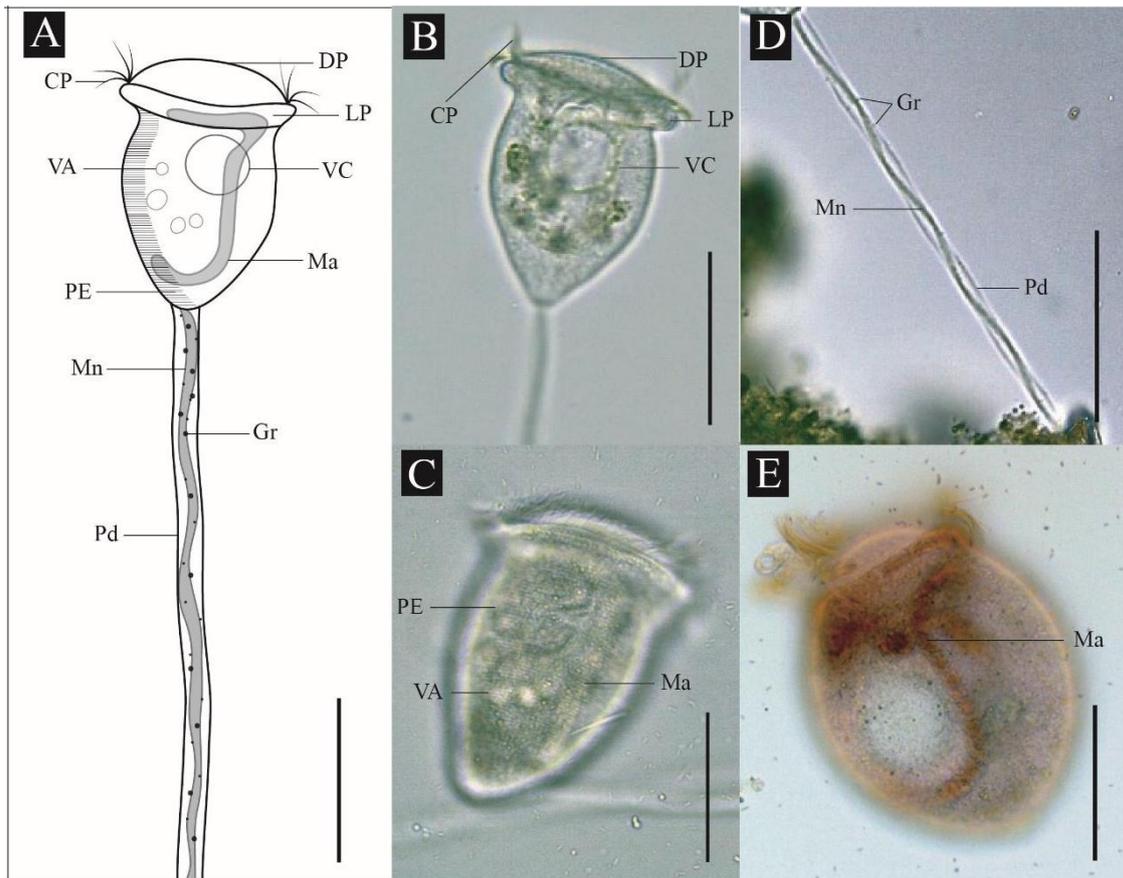


Figura 40. *Vorticella convallaria*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. (B-C) Vista lateral de la parte anterior de un individuo observado *in vivo*. (D) Vista lateral de la parte posterior de un individuo observado *in vivo*. (E) Individuo teñido con colorante safranina. Abreviaturas: **CP**- cilios peristomiales, **DP**- disco peristomial, **Gr**- gránulos, **LP**- labio peristomial, **Ma**- macronúcleo, **Mn**- mionema, **Pd**- pedúnculo, **PE**- película estriada, **VA**- vacuola alimenticia, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μ m.

Vorticella cf. microstoma

Descripción:

Tamaño *in vivo* de 43.2 μm de largo x 19 μm de ancho. Peritrico con forma de campana invertida y alargada, con la película finamente estriada, el disco peristomial está levemente elevado, el peristoma es más angosto que el resto del cuerpo presenta una vacuola contráctil cerca del labio peristomal y el infundíbulo, este último ocupa 1/3 del tamaño total de la célula, además, el pedúnculo es contráctil, no presenta gránulos en el mionema y el macronúcleo posee una forma completamente alargada y se ubica en la parte media del cuerpo manera longitudinal (Figura 41).

Comentarios taxonómicos:

Foissner y colaboradores (1992) mencionan que *Vorticella microstoma* se caracteriza por presentar una película finamente estriada, el peristoma más angosto que el resto del cuerpo y por debajo del peristoma presenta una vacuola contráctil, además, el macronúcleo se alarga longitudinalmente, aunque en ocasiones se encuentra ligeramente curvado, coincidiendo con lo observado en nuestros individuos, sin embargo, en esta tesis la forma del macronúcleo no logró confirmarse mediante técnicas de tinción. Warren (1986) menciona que la especie presenta un tamaño de 55 μm x 35 μm y el infundíbulo ocupa 1/3 del total del cuerpo, puede habitar en aguas estancadas, lodos activados o en cuerpos de agua con alto contenido orgánico. También, Noland y Finley (1931) mencionan que no presenta gránulos en el mionema y el citoplasma puede tener un color grisáceo. Todas las características mencionadas por estos autores (Noland y Finley, 1931 Warren, 1986) coincidieron con las observadas, no obstante, el tamaño de nuestros individuos fue menor al indicado por Warren (1986). Es probable que nuestros individuos pertenezcan a la especie *V. microstoma* ya que presenta muchas de las características de la especie, sin embargo, debido a que no se logró confirmar la información sobre el macronúcleo, nos lleva a confrontar con *V. microstoma*.

En México esta especie se ha registrado en cuatro localidades de la Ciudad de México (Moreno-Rodríguez, 1985; Rivera *et al.*, 1988; Nomdedeu y López-

Ochoterena, 1988 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006; González-Labastida, 1995; García-Santana, 2000); en tres localidades del Estado de México (Rivera *et al.*, 1987; Chilpa-Navarrete, 1998); en Bahía Mesquitito, Baja California (Reyes-Santos, 2001); en Durango (Rico *et al.*, 1987 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006); en Tamaulipas (Rico, 1990 en Aladro-Lubel *et al.*, 2006); y en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán (Mayén-Estrada, 1997). Los individuos identificados en esta tesis presentan un tamaño de zooide menor en comparación con lo mencionado por Mayén-Estrada (1997), así mismo, la forma de la célula difiere de nuestra población ya que, de acuerdo con la autora, describe una forma casi cilíndrica, de igual manera la forma del macronúcleo difiere de nuestra población debido a que Mayén-Estrada (1997) describe un núcleo con los extremos doblados similar a una “C”. En comparación con la población de Baja California (Reyes-Santos, 2001) nuestra población rebasa el intervalo de longitud mencionado, mientras que la anchura se ubica dentro del intervalo dado. El resto de la morfología no presenta ninguna diferencia con la descripción de las poblaciones mencionadas. Este trabajo representa el primer registro de esta especie en el estado de Oaxaca.

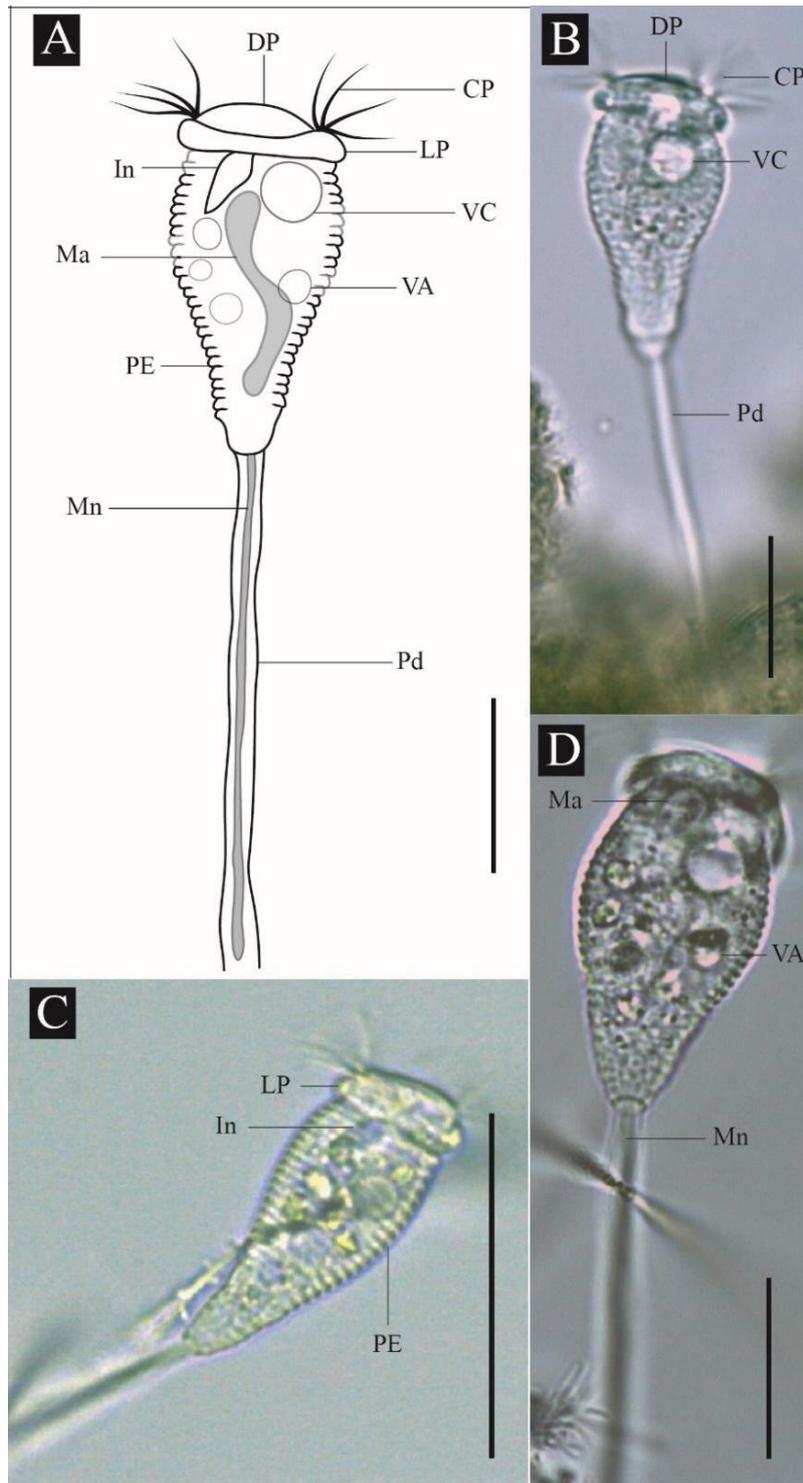


Figura 41. *Vorticella* cf. *microstoma*. (A) Representación esquemática de la vista lateral. (B-D) Vista lateral de diferentes individuos observados *in vivo*. Abreviaturas: **CP**- cilios peristomiales, **DP**- disco peristomial, **In**- infundíbulo, **LP**- labio peristomial, **Ma**- macronúcleo, **Mn**- mionema, **Pd**- pedúnculo, **PE**- película estriada, **VA**- vacuola alimenticia, **VC**- vacuola contráctil. Escala: 50 μm (C) y 20 μm (A, B, D).

Discusión

En el presente trabajo se encontraron 20 especies de ciliados de vida libre, de las cuales, las especies: *Blepharisma sinuosum*, *Euplotes aediculatus*, *E. octocarinatus*, *Brachonella contorta*, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella convallaria*, *V. microstoma* y *Pseudovorticella monilata* se registran por primera vez en estanques de producción de peces en México, mientras que el resto de las especies han sido previamente registradas en estanques de producción de peces en el mundo (Grabacka, 1971; Kovalchuk, 2017a, 2017b, 2017c; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023).

Grabacka (1971) registró en Polonia a las especies *Cinetochilum margaritaceum*, *Halteria grandinella*, *Paramecium caudatum*, *Spirostomum minus*, *Stentor coeruleus*, *S. roeseli* y *Urocentrum turbo* en tres estanques con fertilizantes y con presencia de alevines. Kovalchuk (2017a, 2017b, 2017c) registró entre 1988 y 1989 las mismas siete especies en dos estanques piscícolas de Kiev, aunado a las siete especies mencionadas, también registró a *Coleps elongatus*, *Chilodonella uncinata* y *Spirostomum teres*. Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) de igual manera, registró a las especies *Stentor roeseli* y *Urocentrum turbo*, así como a *Euplotes eurystomus* y *Vorticella campanula* en la granja piscícola de traspatio “La Tilapia Zimateca” ubicada en los valles centrales de Oaxaca.

En comparación con los dos primeros autores (Grabacka, 1971; Kovalchuk, 2017a, 2017b, 2017c) nuestro estudio presentó un número menor de especies, ya que Grabacka (1971) registró un total de 43 especies, mientras que Kovalchuk (2017a, 2017b, 2017c) presentó un total de 183 especies. La diferencia entre el total de especies puede deberse a la diferencia en la toma de muestras, pues en dichos trabajos fueron obtenidas mediante aparatos especializados, así mismo, los estanques piscícolas del área de estudio son de tierra con fertilizante, lo que puede estar generando un aumento en la riqueza de especies, debido a que la tierra presenta un incremento de nutrientes que influyen la riqueza y diversidad de ciliados (Li *et al.* 2010), además de que es bien sabido que la diversidad de ciliados terrestres es mayor en comparación con la diversidad de ciliados acuáticos

(Foissner, 1999). En cuanto al estudio realizado por Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) este presentó un total de trece especies identificadas, lo cual se asemeja al número de especies registradas en esta tesis.

En México, el único trabajo relacionado con la presencia e identificación específica de ciliados de vida libre en una granja acuícola corresponde al realizado por Rivas-Beltrán *et al.*, (2023), el cual se realizó en el estado de Oaxaca en la granja piscícola de traspatio “La Tilapia Zimateca”, conformada por siete estanques con un sistema de recirculación de agua. De las trece especies registradas por el autor, las especies *Stentor roeseli*, *Euplotes eurystomus*, *Urocentrum turbo* y *Vorticella campanula*, se comparten con lo registrado en esta tesis. Sin embargo, los nichos donde fueron registradas estas especies coinciden con algunos de los nichos en los que fueron encontrados los organismos del presente trabajo (Tabla 3). *Stentor roeseli* se registró en el estanque de cuarentena (E40), el estanque dos con presencia de lirio acuático (E2CAyL) y en el estanque de mineralización (EM), para esta especie ninguno de los nichos coincide con los registrados por Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) quien registró la especie en el estanque de venta, estanque de sedimentación y biofiltración y el estanque de desnitrificación. En cuanto a la especie *E. eurystomus*, esta fue registrada en dos estanques: el E2CAyL y el estanque de sedimentación 2 (ES2), este último estanque concuerda con el nicho en el que fue registrado en la granja “La Tilapia Zimateca”, así mismo, la especie *U. turbo* fue registrada en el estanque piloto (EP), el estanque dos (E2CA) y el estanque de biofiltración (EB), este último equivale al estanque de desnitrificación mencionado por Rivas-Beltrán *et al.* (2023), por lo que el registro de esta especie se ajusta únicamente para dicho estanque, por otro lado, la especie *V. campanula* fue registrada en el estanque cuatro (E4), el estanque cinco (E5), el estanque ES2, el estanque EM y el estanque de biofiltración (EB), para esta especie los registros de esta tesis son congruentes con tres de los nichos mencionados por Rivas-Beltrán y colaboradores (2023).

A pesar de que ambas granjas se dedican a la producción de tilapias y presentan un sistema de recirculación del agua, existe una diferencia entre los nichos donde fueron registrados los ciliados, así como en su diversidad. Lo anterior puede deberse a las diferencias estructurales y logísticas que existen en cada granja. La granja “La

Tilapia Zimateca” (Rivas-Beltrán *et al.* , 2023), corresponde a una granja piscícola de traspatio en la cual, el agua utilizada para el funcionamiento del sistema, proviene de la captación pluvial realizada anualmente, además de contar con un menor número de estanques y poseer una superficie inferior en comparación con el área de estudio del presente trabajo, lo que implica que el recorrido del agua dentro del sistema de recirculación es menor al realizado en la granja “El Danzante”, también, la especie de tilapia cultivada en la granja de Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) corresponde a híbridos resultantes de la cruce de tres variedades: la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), la tilapia Til-gen y la tilapia Spring, mientras que en la granja “El Danzante” se cultiva a la especie *O. niloticus* y las variedades Gift y Spring. Así mismo, se alimenta a los peces con pellet de alimento balanceado y en las etapas tempranas de crecimiento con alimento hormonado para la reversión sexual de los peces, mientras que en la granja “El Danzante” las tilapias son alimentadas durante todas las etapas con pellet de alimento balanceado que varía en tamaño según la talla de los peces y en ocasiones también se les alimenta con lenteja de agua (*Lemna minor*). El uso de alimento hormonado ha demostrado generar estrés en los peces que lo consumen, lo que puede resultar en bajas tasas de supervivencia, así mismo, aumenta los niveles de carga orgánica en el agua ya que la excreción realizada por dichos organismos libera mayor cantidad de desperdicios metabólicos, disminuyendo rápidamente la calidad del agua y facilitando el establecimiento de ciliados parásitos (Hoga *et al.*, 2018; Jahangiri *et al.*, 2020). Por otro lado, la alimentación balanceada y el uso de plantas acuáticas del género *Lemna* brindan un alto contenido proteico, además de promover la disponibilidad de zooplancton en el agua, incluyendo ciliados de vida libre (Şenler, y Yildiz, 2004; Rahman *et al.*, 2008; Webber *et al.*, 2014).

Otro aspecto que puede estar generando diferencia en la diversidad de especies entre ambas granjas, puede ser la temporalidad en que se realizaron los muestreos, Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) llevó a cabo sus muestreos durante verano y otoño, mientras que nuestros muestreos se realizaron en las cuatro temporadas del año. A pesar de que la mayoría de los ciliados identificados en este trabajo se pueden encontrar durante cualquier temporada del año, incluyendo a las especies

compartidas con Rivas-Beltrán *et al.* (2023), hay algunas especies que presentan mayor abundancia durante ciertas temporadas, tal es el caso de *Vorticella convallaria*, *Spirostomum minus* y *Halteria grandinella* las cuales son abundantes durante otoño y primavera, mientras que *Pseudovorticella monilata* es más común en verano y otoño, por otra parte *Vorticella microstoma* presenta mayor abundancia durante invierno (Bick, 1972; Foissner *et al.*, 1991, 1992) (Tabla 3).

En México, se han realizado estudios previos donde se han registrado géneros de ciliados relacionados con el cultivo de tilapia bajo diseños experimentales en sistemas de tipo Biofloc (Monroy-Dosta, 2013; Castro-Mejía *et al.*, 2017; Becerril-Cortés, 2018; Gallardo-Collí, 2019). El estudio realizado por Rivas-Beltrán y colaboradores (2023) y el presente trabajo, son los únicos estudios con una identificación a nivel de especie.

Algunas de las especies pertenecientes a los géneros registrados por los autores mencionados (Monroy-Dosta, 2013; Castro-Mejía *et al.*, 2017; Becerril-Cortés, 2018; Gallardo-Collí, 2019), son consideradas cosmopolitas, como *Blepharisma sinuosum*, *Euplotes octocarinatus*, *Paramecium polycaryum* y *Coleps elongatus* (Foissner *et al.*, 1999; Fernandes *et al.*, 2013; Méndez-Sánchez *et al.*, 2020). Mientras que el resto de las 16 especies registradas en esta tesis se han registrado principalmente en reactores de biodiscos, lodos activados, drenaje doméstico, estanques de estabilización, lagunas facultativas (Castro-Gutiérrez, 1985; Moreno-Rodríguez, 1985; Rivera *et al.*, 1988; Anaya-Huertas, 1992; Ibarra-Hernández, 1992; Luna-Pabello, 1993; Sánchez-Rodríguez, 1994; Rodríguez-Rodríguez, 1996; Chilpa-Navarrete, 1998; García-Santana, 2000), en un pantano perturbado (Méndez-Sánchez *et al.*, 2018) y asociados a algas o animales acuáticos (Martínez-Murillo, 1997; Mayén-Estrada, 1997; Reyes-Santos, 2001; Aristeo-Hernández, 2017). Dichos ambientes corresponden en su mayoría a ambientes alfa-mesosaprobios y beta-mesosaprobios, es decir, cuerpos de agua saturados con materia orgánica, sin embargo, el primer ambiente se encuentra altamente cargado mientras que el segundo corresponde a un ambiente moderadamente saturado (Dias *et al.*, 2008).

El área de estudio puede llegar a presentar dichas condiciones debido a que los peces generan y desechan materia orgánica proveniente de la excreción metabólica,

el alimento no consumido y las heces (De la Mora, 2003), lo anterior se ve remediado mediante el sistema de la granja, el cual mantiene una recirculación del agua constante a través de biofiltros, los cuales eliminan los desperdicios metabólicos generados por los peces (Ruiz *et al.*, 2019), generando una mejor calidad del agua. El óptimo funcionamiento del sistema de recirculación se ve sustentado con la presencia de la especie *Coleps elongatus*, identificada en esta tesis, esta especie se ha registrado únicamente en cuerpos de agua oligosaprobios, es decir, nula o ligeramente saturados de materia orgánica (Foissner *et al.*, 1999). Así mismo, las especies *Paramecium caudatum*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Stentor roeseli* y *Spirostomum teres* son poco tolerantes a la presencia de amonio y amoniaco (Bick, 1972), los cuales son eliminados mediante la biofiltración o filtración biológica que es llevada a cabo por colonias de bacterias nitrificantes.

En relación con la presencia de especies por estanque, las especies *Spirostomum minus*, *Halteria cf. grandinella*, *Coleps elongatus*, *Stentor roeselii* y *Urocentrum turbo* fueron las que presentaron mayor frecuencia y abundancia ya que se registraron en la mayoría de los estanques durante todas las temporadas. Por otro lado, *Pseudovorticella cf. monilata*, *Stentor coeruleus*, *Euplotes cf. octocarinatus*, *Frontonia sp.*, *Monodinium sp.*, *Didinium sp.*, *Spirostomum teres* y Suctoría fueron especies exclusivas, donde *Pseudovorticella cf. monilata* se registró únicamente en el estanque de mineralización, mientras que *Stentor coeruleus*, *Spirostomum teres*, *Euplotes cf. octocarinatus* y *Frontonia sp.* fueron exclusivas del estanque piloto. Así mismo, *Monodinium sp.* y *Didinium sp.* se registraron únicamente en el estanque 5, por último, Suctoría fue registrado únicamente para el estanque E40. Los organismos restantes se registraron en más de dos estanques de la granja.

El estanque en el que se encontró mayor diversidad corresponde al estanque E2CAyL, con 17 organismos encontrados durante todos los muestreos realizados, la abundancia de especies puede deberse a la presencia de la macrófita acuática, debido a que la presencia de vegetación en cuerpos de agua brinda beneficios a las comunidades planctónicas, en este caso a los ciliados, donde las raíces funcionan como refugio, brindando protección y disminuyendo la depredación de los ciliados por parte de otros organismos pertenecientes al plancton (Sipaúba-Tavares *et al.*,

2002). Las especies registradas para este estanque (Tabla 3) no solo se han registrado asociadas a las raíces de la planta sino también como ciliados libres nadadoras (Luna-Pabello, 1993; Lugo-Vázquez, 2017; Méndez-Sánchez *et al.* 2018; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023), coincidiendo a su vez con lo registrado para el estanque E2CA para el cual se registraron ocho de las especies y uno de los géneros registrados para el E2CAyL, así como un género previamente no registrado para dicho estanque (*Aspidisca* sp.).

El segundo estanque con mayor diversidad de ciliados (15 organismos pertenecientes a 12 géneros distintos) (Tabla 3) corresponde al estanque EM, el cual al igual que el estanque E2CAyL, contaba con la presencia de vegetación acuática conocida como lechuguita de agua (*Pistia stratiotes* Linneo 1753) y la planta del género *Lemna* sp., en las cuales las especies fueron encontradas cercanas a las raíces, así como a la materia en descomposición proveniente de estas plantas.

El estanque EP presentó un total de 13 organismos correspondientes a 11 géneros, de las cuales cuatro fueron exclusivas para este estanque (Tabla 3), dichas especies se pueden encontrar principalmente en ambientes alfa-mesosaprobios y beta-mesosaprobios (Foissner *et al.*, 1992, 1999). Durante el primer muestreo se registró uno de los cuatro organismos exclusivos (*Stentor coeruleus*) y para el segundo muestreo se registraron los tres ciliados restantes donde el género *Frontonia* fue dominante. *Stentor coeruleus* y *Frontonia* sp. son ciliados comunes en cuerpos de agua con nulo o poco movimiento de agua, características presentes en el estanque EP, además, de contar con una cantidad considerable de la planta acuática *Pistia stratiotes*, la cual al presentarse en grandes cantidades podría estar brindando beneficios similares al lirio acuático del estanque ECAyL2.

En el estanque EB se registraron ocho de las especies previamente mencionadas (Tabla 3), donde *Vorticella convallaria* y *V. cf. microstoma* son compartidas con el estanque ES2. Ambas especies son comunes en ambientes con materia orgánica en descomposición, así como en lodos activados y filtros de agua (Bick, 1972), características presentes en los dos estanques ya que el estanque EB realiza la transformación de nitritos a nitratos mediante colonias de bacterias nitrificantes y el

estanque ES2 realiza el proceso de sedimentación, por lo que aún presenta restos de materia orgánica en el agua y amonio. Adicionalmente, los dos estanques cuentan con poca presencia de la planta *Lemna minor* (lenteja de agua) que les podría servir como sustrato debido a que dichas especies son principalmente sésiles (Buhse *et al.*, 2011).

Mientras que el estanque E40 presentó siete de los organismos ya mencionados (Tabla 3), los estanques E1 y E4 mostraron menor diversidad de especies (tres organismos cada uno). La baja diversidad de especies puede deberse a que estos dos últimos estanques solo fueron muestreados en dos ocasiones ya que en las siguientes visitas los estanques se encontraban vacíos, a pesar de esto, los registros para ambos estanques (Tabla 3) corresponden a especies que se pueden encontrar en cualquier temporada del año (Bick, 1972; Foissner *et al.*, 1992), por lo que si dichos estanques hubieran estado ocupados por agua durante todos los muestreos realizados, se esperaría que las especies se siguieran registrando.

A pesar de que la granja acuícola “El Danzante” presenta un sistema de recirculación de agua, algunas de las especies no se comparten entre los estanques, lo cual indica que cada uno de estos representa un nicho para cada especie y brinda las condiciones necesarias para la existencia de estas, confirmando lo mencionado por Dias y colaboradores (2008) quienes indican que la sensibilidad de los ciliados a factores físicos y químicos generan la relación de las especies con su ambiente.

Con respecto a la presencia de las especies durante las diferentes temporadas, las especies *Spirostomum minus*, *Halteria cf. grandinella*, *Coleps elongatus*, *Stentor roeseli* y *Urocentrum turbo* no fueron registradas (Tabla 3) durante los muestreos “agosto 21” (temporada durante la cual se presentaron altas temperaturas durante el día y lluvias en el estado) y “diciembre 21” (temporada con bajas temperaturas durante la madrugada). La ausencia de tales especies en dichos muestreos puede deberse a que durante la primera visita a la granja solo se tomaron muestras de dos estanques ya que el resto se encontraban vacíos, mientras que para la segunda visita a pesar de que fueron tomadas más muestras, las temperaturas registradas en la localidad de acuerdo con lo mencionado por el dueño de la granja fueron bajas

(5-6 °C).

Previo al muestreo de “junio 2022” el estado de Oaxaca sufrió una sequía de varios meses (noviembre- abril) y altas temperaturas (López-Velázquez, 2022a, 2022b), no obstante, durante dicho muestreo se presentaron lluvias abundantes, registrándose 18 especies de las cuales los géneros *Monodinium* sp. y *Didinium* sp. se identificaron por primera y única vez, mientras que las especies con mayor abundancia fueron *Urocentrum turbo*, *Spisrostomum minus*, *Coleps elongatus*, *Euplotes aediculatus* y *Paramecium* sp. Todos estos cambios durante las diferentes temporadas podrían haber causado estrés a las especies de ciliados, generando el enquistamiento de algunas de ellas debido a que las condiciones no eran favorables (Dias *et al.*, 2016). La riqueza de las especies en los estanques de la granja en el transcurso de esta temporada varía en comparación con los muestreos siguientes, lo cual se ajusta a lo dicho por Gulin y colaboradores (2022) quienes mencionan que los procesos de colonización de ciliados son bastante complejos durante los cambios de temporada.

Durante el muestreo “octubre 2022”, correspondiente a una temporada con lluvias y altas temperaturas en el estado, se presentó un mayor número de especies (21 especies) (Tabla 3). Se registraron por primera vez a las especies *Blepharisma sinuosum* y *Brachonella contorta* días después de la primera revisión de muestras, indicando que posiblemente en el transcurso de estas revisiones las especies se encontraban enquistadas debido a las condiciones físicas desfavorables generadas posterior a la toma de muestras (Dias *et al.*, 2008; Bourland *et al.*, 2018; Cavaleiro *et al.*, 2018). Finalmente, en el último muestreo realizado “febrero 2023”, caracterizado por bajas temperaturas, se registraron 20 especies de las cuales *Euplotes* cf. *octocarinatus*, *Pseudovorticella* cf. *monilata* y *Frontonia* sp. se registraron únicamente para este muestreo.

Algunos ciliados simbiotes pueden afectar a diversos organismos acuáticos, dentro de la acuicultura son de gran importancia debido a que pueden generar diferentes afectaciones a los peces e incluso provocarles la muerte (Valladão *et al.*, 2016). La tilapia del Nilo es una de las especies más cultivadas mundialmente y a

pesar de ser considerada una especie altamente resistente a diferentes enfermedades, en la actualidad es una de las más susceptibles a enfermedades parasitarias (Islas-Ortega *et al.*, 2020). La tricodiniasis es una enfermedad parasitaria provocada por ciliados pertenecientes a la familia Trichodinidae, donde el género *Trichodina* es uno de los más comunes asociados a peces de agua dulce en condiciones de cultivo, generando grandes afectaciones a las producciones debido a que se encuentran principalmente en la piel y branquias de los peces, causándoles irritación y facilitando infecciones secundarias (Abowei *et al.*, 2011; Abu-Elala *et al.*, 2021).

Si bien lo anterior indica lo vulnerables que pueden llegar a ser las tilapias dentro de granjas acuícolas, aunado a los registros previos en México que indican la presencia de ciliados parásitos en tilapias bajo cultivo (Nava-Sierra, 2018; Morales-Serna *et al.*, 2018; Rodríguez-Santiago 2019; Islas-Ortega *et al.*, 2020; Rodríguez-Santiago *et al.*, 2021; Paredes-Trujillo *et al.*, 2022; Rivas-Beltrán *et al.*, 2023), se esperaba que en el presente trabajo se registraran especies de ciliados simbiotes, sin embargo, no se encontraron tricodínidos en ninguno de los muestreos realizados, a pesar de lo registrado por Balta y colaboradores (2008) quienes mencionan que existe una fluctuación entre la aparición de ciliados parásitos y la temporalidad, debido a que los ciliados del género *Trichodina* presentan mayor abundancia durante los meses de agosto y septiembre (verano) seguidos por el mes de mayo (primavera). Pese a que en el presente trabajo se realizaron muestreos dentro de las temporadas mencionadas por los autores, no se registró la presencia de tricodínidos en alevines ni en tilapias adultas. La ausencia de estos ciliados puede deberse al sistema de recirculación del agua que presenta la granja acuícola “El Danzante”, y a la metodología y funcionamiento estructurado que esta tiene, ya que los alevines son transportados de la manera más rápida y eficaz para evitarles estrés durante el trayecto, una vez llegados a su lugar de destino, los alevines pasan por un periodo de cuarentena de entre 2 a 3 semanas, además, cada quince días se miden las propiedades químicas del agua como nitratos, nitritos, amonio, pH y diariamente se mide la temperatura y el oxígeno disuelto de los estanques de crianza. Todos estos aspectos en conjunto hacen que el crecimiento poblacional de los tricodínidos

dentro de la granja sea nulo, ajustándose a lo mencionado por Khoshnood y Kooshnood (2014), Al-Marjan y colaboradores (2015) y Osuna-Cabanillas y colaboradores (2022), quienes indican que las condiciones que pueden dar origen a la tricodiniasis son las altas densidades de peces en los estanques, la mala calidad del agua, la falta de limpieza de los estanques, así como del equipo de pesca, la fuente de origen de los alevines, las altas concentraciones de nitritos y nitratos, al igual que una baja frecuencia en el recambio del agua. Biswas y colaboradores (2023) mencionan que los parásitos de peces de agua dulce son sensibles a la contaminación del agua, por lo que pueden ser utilizados como bioindicadores para la detección de la calidad del sistema de agua dulce donde se encuentren, en este sentido, la acumulación de materia orgánica puede generar el crecimiento de las poblaciones de parásitos en peces, a pesar de que la granja acuícola “El Danzante” presenta desechos orgánicos en los estanques no se encontraron parásitos en las tilapias, indicando que el mecanismo con el que se trabaja en toda la granja posee las características correctas que evitan el surgimiento de ciliados parásitos y de parásitos en general.

A pesar de no haber encontrado ciliados parásitos, existen especies de ciliados de vida libre que al aumentar su población pueden causar graves daños a los peces de granjas acuícolas, tal es el caso de *Chillodonella uncinata*, la cual puede ser parásita oportunista u obligada y se ha registrado en branquias y piel de peces bajo condiciones de cultivo provocando daños en el tejido e incluso la muerte de su hospedero (Bastos-Gomes *et al.*, 2016; Bu *et al.*, 2023). Si bien en esta tesis *C. uncinata* se encontró en la mayoría de los estanques, en ninguno de los muestreos realizados se encontró en cantidades excesivas como para considerarlo parásito, además, al no encontrarse en la piel ni en las branquias de las tilapias revisadas no se le consideró como un riesgo potencial dentro de la granja.

Pese a la importancia de los ciliados de vida libre dentro de las granjas acuícolas solo existe un trabajo sobre este tema en el país (Rivas-Beltrán *et al.*, 2023), por lo que esta tesis representa el segundo trabajo sobre ciliados de vida libre en granjas de tilapia en México, en el cual las especies *Halteria cf. grandinella*, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella cf. microstoma* y *Pseudovorticella cf. monilata* se registran

por primera vez para el estado de Oaxaca, mientras que *Coleps elongatus* se registra por primera vez en el país.

Tabla 3. Ciliados de vida libre que se identificaron en los estanques de la granja acuícola “El Danzante” municipio de Culiapam de Guerrero, Oaxaca en los diferentes muestreos realizados.

TANQUES	EP		E40		E1	E2 CA			E2 CAyL			E4		E5			ES 2		EM			EB			
Muestreo	Diciembre 21	Febrero 23	Agosto 21	Febrero 23	Diciembre 21	Junio 22	Octubre 22	Febrero 23	Junio 22	Octubre 22	Febrero 23	Agosto 21	Diciembre 21	Diciembre 21	Junio 22	Octubre 22	Octubre 22	Febrero 23	Diciembre 21	Junio 22	Octubre 22	Febrero 23	Junio 22	Octubre 22	Febrero 23
Especies																									
<i>Blepharisma americanum</i>	X									X							X				X				
<i>Spirostomum minus</i>	X					X	X	X	X	X					X		X				X				X
<i>Spirostomum teres</i>	X																								
<i>Stentor coeruleus</i>	X	X																							
<i>Stentor roeseli</i>			X				X	X	X		X														X
<i>Aspidisca sp.</i>				X	X			X					X						X					X	
<i>Euplotes aediculatus</i>	X					X	X		X	X										X					
<i>Euplotes eurystomus</i>									X								X								
<i>Euplotes cf. octocarinatus</i>		X																							
<i>Halteria cf. grandinella</i>				X			X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X	X
Oxytrichidae											X	X						X	X	X			X	X	
Pleurostomatida					X									X									X	X	
<i>Brachonella contorta</i>	X									X							X				X				
<i>Didinium sp.</i>															X										
<i>Monodinium sp.</i>															X										
<i>Chilodonella uncinata</i>			X			X										X		X		X					X
Suctorina			X																						

<i>Coleps elongatus</i>	X	X		X	X	X		X	X	X	X			X		X	X
<i>Coleps</i> sp.								X	X		X			X	X		X
<i>Frontonia</i> sp.																	
<i>Paramecium</i> cf. <i>caudatum</i>					X	X		X	X				X				
<i>Paramecium polycarum</i>		X						X					X				
<i>Paramecium</i> sp.					X	X		X									
<i>Urocentrum turbo</i>	X				X			X	X								X
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>					X	X		X					X				
<i>Cyclidium</i> sp.								X					X				
<i>Vorticella campanula</i>									X	X	X						X
<i>Vorticella convallaria</i>	X									X	X						X
<i>Vorticella</i> cf. <i>microstoma</i>										X			X				X
<i>Pseudovorticella</i> cf. <i>monilata</i>																	X

EP- estanque piloto, E40- estanque cuarentena, E1- estanque 1, E2 CA- estanque 2 solo columna de agua, E2 CAyL- estanque 2 columna de agua y lirio, E4- estanque 4, E5- estanque 5, ES2- estanque de sedimentación 2, EM- estanque mineralización, EB- estanque biofiltración.

Conclusiones

Se identificaron veinte especies de ciliados de vida libre, así mismo, se determinaron siete registros a nivel género, uno a nivel familia, uno a nivel orden y uno a nivel subclase.

Las especies *Blepharisma sinuosum*, *Euplotes aediculatus*, *E. octocarinatus*, *Brachonella contorta*, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella convallaria*, *V. cf. microstoma* y *Pseudovorticella cf. monilata* se registran por primera vez en estanques de producción de peces en México.

Las especies *Halteria cf. grandinella*, *Paramecium polycaryum*, *Vorticella cf. microstoma* y *Pseudovorticella cf. monilata* se registran por primera vez para el estado de Oaxaca. De corroborarse taxonómicamente *Halteria cf. grandinella*, *V. cf. microstoma* y *Pseudovorticella cf. monilata* el número de especies registradas para el estado aumentaría de 58 a 62.

La especie *Coleps elongatus* es registrada por primera vez para el país.

El presente trabajo representa el segundo trabajo sobre ciliados de vida libre en granjas de tilapia en México.

Referencias

- Aboseif, A., Flefil, N., Taha, M., Tahoun, U., Abdel, H., El-Haroun, E., Van, H., Goda, A. (2022). Influence of dietary C: N: P ratios on Nile tilapia *Oreochromis niloticus* growth performance and formation of water biotic communities within a biofloc system containment. *Aquaculture Reports* 24, 101-136.
- Abowei, J., Briyai, O., y Basse, S. (2011). A review of some basic parasite diseases in culture fisheries flagellids, dinoflagellides and ichthyophthiriasis, ichtyobodiasis, coccidiosis trichodiniasis, heminthisis, hirudinea infestation, crustacean parasite and ciliates. *British Journal Pharmacology and Toxicology* 2(5), 213-226
- Abraham, J., Somasundaram, S., Maurya, S., Gupta, R., Makhija, S. y Toteja, R. (2021). Characterization of *Euplotes lynni* nov. spec., *E. indica* nov. spec. y descriptions of *E. aediculatus* and *E. woodruffi* (Ciliophora, Euplotidae) using an integrative approach. *The Journal of Protozoology* 79, 125779.
- Abu-Elala, N., Attia, M., Abd-Elsalam, R., Gamal, A., y Younis, N. (2021). Peracetic acid treatment of *Ichthyophthirius multifiliis* (Ciliophora: Ichthyophthiriidae) and *Trichodina* spp. reduces the infection by *Aeromonas hydrophila* and improves survival in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 538, 736591.
- Adl, S., Simpson, A., Lane, C., Lukeš, J., Bass, D., Bowser, S., Brown, M., Burki, F., Dunthorn, M., Hampl, V., Heiss, A., Hoppenrath, M., Lara, E., le Gall, L., Lynn, D., McManus, H., Mitchell, E., Mozley-Stanridge, S., Parfrey, L., Pawlowski, J., Rueckert, S., Shadwick, L., Schoch, C., Smirnov, A. y Spiegel, F. (2012). The Revised Classification of Eukaryotes. *Journal of eukaryotic microbiology* 59(5), 429–493.
- 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., Karpov, S., Kim, E., Kolisko, M., Kudryavtsev, A., Lahr, D., Lara, E., Gall, L., Lynn, D., Mann, D., Molera, R., Mitchell, E., Morrow, C., Park, J., Pawlowski, J., Powell, M., Richter, D., Rueckert, S., Shadwick, L., Shima, S. Spiegel, F., Cortes, 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.
- Aescht, E. y Foissner, W. (1998). Divisional morphogenesis in *Blepharisma americanum*, *B. undulans* and *B. hyalinum* (Ciliophora: Heterotrichida). *Acta Protozoologica* 31, 71- 92.
- Aladro-Lubel, M. A., Mayén-Estrada, R. y Reyes-Santos, M. (2006). *Listados Faunísticos de México. XI Registro Actualizado de Ciliados (Vol. 11)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 97 pp.
- Aladro-Lubel, M.A., Reyes-Santos, M. y Olvera, F. (2009). Diversidad de los protozoos ciliados. *Diversidad biológica e inventarios*, 61-68.

Alekperov, I., Buskey, E. y Snegovaya, N. (2007). The free-living ciliates of the Mexican Gulf coast near Port Aransas city and its suburbs (South Texas, USA). *Protistology* 5, 101-130.

Alekperov, I., Obolkina, L., y Wilbert, N. (2012). Ciliates of the coastal zone in the southern basin of Lake Baikal (Part 1). *Protistology* 7(1), 5-33.

Al-Marjan, K. S. N., & Abdullah, S. M. (2015). *Trichodina* sp. as bioindicator for evaluation of biochemical oxygen demand (BOD5) in aquaculture fish farms (ponds). *Science Journal of University of Zakho* 3(1), 27-31.

Anaya-Huertas, C. (1992). *Estudio de los protozoarios ciliados presentes en un sistema de tratamiento biológico de un efluente industrial petroquímico*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 161 pp.

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, México, 131 pp.

Armijo-Ortiz, A. (1968). *Estudio preliminar de algunos protozoarios asociados a peces dulceacuícolas de México*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 55 pp.

Arroyave, M. (2004). La lenteja de agua (*Lemma minor* L.) una planta acuática promisoría. *Revista EIA* 1, 33-38.

Azim, M. y Little, D. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc, composition and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283, 29-35.

Balta, F., Kayis, S., y Altinok, I. (2008). External protozoan parasites in three trout species in the Eastern Black Sea region of the Turkey: intensity, seasonality, and their treatments. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 28(4), 157-162.

Baroin-Tourancheau, A., Delgado, P., Perasso, R. y Adoutte, A. (1992). A broad molecular phylogeny of ciliates: Identification of major evolutionary trends and radiations within the phylum. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89, 9764-9768.

Bastos-Gomes, G., Jerry, D. y Hutson, K. (2016). Current status of parasitic ciliates *Chilodonella* spp. (Phyllopharyngea: Chilodonellidae) in freshwater fish aquaculture. *Journal of Fish Diseases* 40(5), 703-715.

Becerril-Cortés, D., Monroy-Dosta, M.C., Coelho-Emerenciano, G., Castro-Mejía, G., Bermúdez, S. y Correa, G. (2018). Effect on nutritional composition of produced bioflocs with different carbon sources (Molasses, coffee waste and rice bran) in Biofloc system. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6(2), 541-547.

Berger, H. (2012). *Monograph of the oxytrichidae (Ciliophora, Hypotrichia)* (78). Springer Science & Business Media.

- Bhandary, V. (1962). Taxonomy of the genus *Blepharisma* with special reference to *Blepharisma undulans*. *The Journal of Protozoology* 9(4), 435-442.
- Bick, H., &. (1972). Ciliated protozoa: an illustrated guide to the species used as biological indicators in freshwater biology. World Health Organization, 198 pp.
- Biswas, J., Pramanik, S., y Kumar, M. (2023). Fish parasites as proxy bioindicators of degraded water quality of River Saraswati, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 195(7), 818.
- Boscaro, V., Carducci, D., Barbieri, G., Senra, M., Andreoli, I., Erra, F., Petroni, G., Verni, F. y Fokin, S. (2014). Focusing on genera to improve species identification: revised systematics of the ciliate *Spirostomum*. *Protist* 165, 527-541.
- Bourland, W., Rotterová, J. y Čepička, I. (2016). Redescription and molecular phylogeny of the type species for two main metopid genera, *Metopus es* (Müller, 1776) Lauterborn, 1916 and *Brachonella contorta* (Levander, 1894) Jankowski, 1964 (Metopida, Ciliophora), based on broad geographic sampling. *European Journal of Protistology* 59, 133-154.
- Bourland, W., Rotterová, J., y Čepička, I. (2018). Morphologic and molecular characterization of *Brachonella pulchra* (Kahl, 1927) comb. nov. (Alveolata, Ciliophora) with comments on cyst structure and formation. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 68(9), 3052-3065.
- Boyd, C. y Tucker, C. (1998). Handbook for aquaculture water quality. *Handbook for aquaculture water quality*, 439.
- Bu, X., Zhao, W., Li, W., Zou, H., Wu, S., Li, M., y Wang, G. (2023). Mitochondrial metabolism of the facultative parasite *Chilodonella uncinata* (Alveolata, Ciliophora). *Parasites & Vectors* 16(1), 1-12.
- Buhse, E., McCutcheon, M., Clamp, C. y Sun, P. (2011). *Vorticella*. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1-10.
- Burki, F., Shalchian-Tabriz, K., Minge, M., Skjæveland, A., Nikolaev, S., Jakobsen, N. y Pawlowski, J. (2007) Phylogenomics Reshuffles the Eukaryotic Supergroups. *PLoS ONE* 2(8).
- 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, 106-166.
- Castro-Gutiérrez, F. (1985). *Estudios de los protozoos en un sistema de biodiscos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Copilco, CU*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 110 pp.
- Castro-Mejía, G., De Lara-Andrade, R., Monroy-Dosta, M.C., Maya-Gutiérrez, S., Castro-Mejía, J. y Jiménez-Pacheco, F. (2017). Presencia y abundancia de fitoplancton y zooplancton en un sistema de producción de Biofloc utilizando dos aportes de carbono: 1) Melaza y 2) Melaza + pulido de arroz cultivando al pez *Oreochromis niloticus*. *Revista*

Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente 1(13), 33-42.

Cavaleiro, J., Fernandes, N., da Silva-Neto, I. y Soares, G. (2018). Resting cysts of the pigmented ciliate *Blepharisma sinuosum* Sawaya, 1940 (Ciliophora: Heterotrichea). *Journal of Eukaryotic Microbiology* 65(3), 422-426.

Chen, Y., Zhao, Y., Pan, X., Ding, W., Al-Raished, K. y Qiu, Z. (2014). Morphology and Phylogeny of a new *Frontonia* ciliate, *F. paragmana* spec. nov. (Ciliophora, Peniculida) from Harbin, Northeast China. *Zootaxa* 3827(3), 375-386.

Chi, Y., Duan, L., Luo, X., Cheng, T., Warren, A., Huang, J. y Chen, X. (2019). A new contribution to the taxonomy and molecular phylogeny of three, well-known freshwater species of the ciliate genus *Spirostomum* (Protozoa: Ciliophora: Heterotrichea). *Zoological Journal of the Linnean Society* 20, 1-20.

Chilpa-Navarrete, A. (1998) *Relación entre protozoarios (ciliados y flagelados) y las condiciones de operación de un sistema biológico para el tratamiento de las aguas residuales del Rio de los Remedios*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 75 pp.

Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A. y Wilson, A. E. (2013) Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems. *Nature Education Knowledge* 4(4), 10.

Curds, C. (1975). A guide to the species of the genus *Euplotes* (Hypotrichida, Ciliatea). *Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology* 28(1), 1-61.

De la Mora, G., Villareal-Delgado, E., Arredondo-Figueroa, J., Ponce-Palafox, J. y Barriga-Sosa, I. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica* 13(4), 247-253.

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

Dinçer, S. (2016). Freshwater ciliates from Beytepe Pond in Ankara with new records for Turkey. *Turkish Journal of Zoology* 40, 663-674.

Dovgal, I. (2002). Evolution, phylogeny and classification of Suctorea (Ciliophora). *Protistology* 2(4), 194-270.

Dovgal, I., Chatterjee, T., y Baban, I. (2008). An overview of suctorian ciliates (Ciliophora, Suctorea) as epibionts of halacarid mites (Acari, Halacaridae). *Zootaxa*, 60-68.

El-Sayed, A. (2020). *Tilapia Culture* (3^a ed.). Academic Press.

Fernandes, N., da Silva Paiva, T., da Silva-Neto, I., Schlegel, M., y Schrago, G. (2016).

Expanded phylogenetic analyses of the class Heterotrichea (Ciliophora, Postciliodesmatophora) using five molecular markers and morphological data. *Molecular phylogenetics and evolution* 95, 229-246.

Fernandes, N., Días, R., Senra, M., Soares, C. y Neto, I. (2013). Morphology and 18S rDNA gene sequence of *Blepharisma sinuosum* Sawaya, 1940 (Ciliophora: Heterotrichea) from Brazil. *European Journal of Protistology* 49(4), 623-633.

Fernandes, N. y Silva-Neto, I. (2013). Morphology and 18S rDNA gene sequence of *Spirostomum minus* and *Spirostomum teres* (Ciliophora: Heterotrichea) from Rio de Janeiro, Brazil. *Zoologia* 30(1), 72-79.

Foissner, W. (1984). Taxonomie und ökologie einiger ciliaten (Protozoa, Ciliophora) des saprobiensystems. L: Genera *Litonotus*, *Amphileptus*, *Opisthodon*. *Hidrobiologica* 119, 193-208.

Foissner, W. (1994). Progress in taxonomy of planktonic freshwater ciliates. *Marine Microbial Food Webs* 8(1-2), 9-35.

Foissner, W. (1999). Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*, 95-112.

Foissner, W., Blatterer, H., Berger, H. y Kohmann, F. (1991). Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems. Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea. Múnich: Bayerisches.

Foissner, W., Blatterer, H., Berger, H. y Kohmann, F. (1992). Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems. Band II: Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida. Múnich: Bayerisches.

Foissner, W., Blatterer, H., Berger, H. y Kohmann, F. (1994). Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems. Band III: Hymenostomata, Prostomatida, Nassulida. Múnich: Bayerisches.

Foissner, W., Berger, H. y Schaumburg, J. (1999). Identification and ecology of limnetic plankton ciliates. Múnich: Bayerisches.

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

Foissner, W. y Wölf, S. (1994). Revision of the genus *Stentor* Oken (Protozoa, Ciliophora) and description of *S. araucanus* nov. spec. form South American lakes. *Journal of Plankton Research* 16(3), 255-289.

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

- Gallardo-Collí, A., Pérez-Rostro, C., Hernández-Vergara, M. y Pérez-Legaspi, I. (2019). Microeukaryote community and the nutritional composition of the biofloc during Nile tilapia culture in water-reusing biofloc systems. *Aquaculture International* 27(2), 381–398.
- García de la Cabada, M. (2001). *Estudio de la variación temporal y vertical de los protozoos ciliados plantónicos en la columna de agua del lago Achichica, Puebla*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 86 pp.
- García-Santana, C. (2000). *Calidad del agua y presencia de protozoarios ciliados en un filtro biológico aerobio*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 87 pp.
- García-Magaña, L., Rodríguez-Santiago, M., Grano-Maldonado, I., Jiménez-Vasconcelos, L., y Guerra-Santos, J. (2019). The effectiveness of sodium chloride and formalin in trichodiniasis of farmed freshwater tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in southeastern Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research* 47(1), 164-174.
- Gong, J. y Song, W. (2008). Morphology and infraciliature of a new marine ciliate, *Cinetochilum ovale* n. sp. (Ciliophora: Oligohymenophorea). *Zootaxa* 1939(1), 51-57.
- Gong, R., Chi, Y., Shao, C., Yuan, Q., Li, Y., Warren, A. y Wang, Y. (2022). Conjugations in the eukaryotic single-celled organism *Euplotes aediculatus* (Protozoa, Ciliophora): A focus on nuclear divisions, morphogenesis and pheromones. *Journal of King Saud University-Science* 34, 102091.
- González-Labastida, M. E. (1995). *Estudio de la variación espacial y temporal de los ciliados planctónicos de los lagos de Chapultepec, D.F.* Tesis ENEP Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 56 pp.
- Gosh, 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* 121(4), 447-452.
- Grabacka, E. (1971). Ciliata in bottom sediments of fingerling ponds. *Polish Archives of Hydrobiology* 18(2), 225-233.
- Graham, E., Chen, H., Dziallas, C., Fernández-Gómez, B. y Kirkpatrick, J. (2014). A more inclusive loop: Examining the contribution of five bacterial specialists to nutrient cycling and the microbial loop. *Eco-DAS X* 4, 48–68.
- Gulin, V., Vlaičević, B., Sertić Perić, M., Rebrina, F., y Matoničkin Kepčija, R. (2022). Taxonomic and functional metrics of ciliates and amoeboid protists in response to stream revitalization. *Frontiers in Microbiology* 13, 842395.
- Gupta, M. y Acosta, B. (2004). A review of global tilapia farming practices. *Aquaculture Asia* 9 (1), 7.

Harris, H. (1900). On the rapid conversion of haematoxylin into haematein in staining reactions. *Journal of Applied Microscopic Laboratory Methods* 3(3), 777.

Hepher, B. y Pruginin, Y. (1991). *Cultivo de peces comerciales*. Editorial Noriega-LIMUSA, México, D. F.

Hernández-Anaya, M. (1981). *Ciliados de una laguneta de los medanos cercanos al puerto de Veracruz*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 97 pp.

Herróz-Zamorano, A. (1998). *Protozoos Ciliados ectoparásitos (piel y branquias) de peces de la familia Cyprinidae cultivados en el Centro Acuícola Morelos de Zacapu, Michoacán*. Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 225 pp.

Herróz-Zamorano, A. (2000). Ciliados parásitos de peces cultivados en México: enfoque ecológico. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria* 2, 6-14.

Hoga, C., Almeida, F. y Reyes, F. (2018). A review on the use of hormones in fish farming: Analytical methods to determine their residues. *CyTA-Journal of Food* 16(1), 679-691.

Ibarra-Hernández, M. (1992). *Análisis protozoológico (protozoarios ciliados libre nadadores) en la laguna de estabilización facultativa*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 88 pp.

Islas-Ortega, A.G., Marcotegui, P., Basson, L. y Aguilar-Aguilar, R. (2020). A checklist of trichodinid species (Ciliophora: Trichodinidae) on tilapia fishes (Cichlidae), with new records from Mexico and the first data from Argentina. *Zootaxa* 4896(4), 451-484.

Jahangiri, L., Shinn, A., Pratoomyot, J. y Bastos-Gomes, G. (2020). Unveiling associations between ciliate parasites and bacterial microbiomes under warm-water fish farm conditions- a review. *Reviews in Aquaculture* 13(2), 1097–1118.

Kattar, M. (1965). *Blepharisma sinuosum* Sawaya (Cilié, Hétérotriche). *Bulletin de la Société Zoologique* 90, 131-141.

Khanjani, M., Alizadeh, M. y Sharifinia, M. (2021). Effects of different carbon sources on water quality, biofloc quality, and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings in a heterotrophic culture system. *Aquaculture International* 29, 307-321.

Khanjani, M., Mohammadi, A. y Coelho-Emerenciano, M. (2022). Microorganisms in biofloc aquaculture system. *Aquaculture Reports* 26, 1-17.

Khoshnood, Z., y Khoshnood, R. (2014). Histopathological effects of trichodiniasis in farmed freshwater Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* in West of Iran. *International Journal of Animal and Veterinary Sciences* 8(10), 1154-1157.

- Kim, J. y Jung, J. (2017). Brief descriptions of 12 ciliates species previously unrecorded (Protozoa: Ciliophora) in Korea. *Journal of Species Research* 6(Special Edition), 15-25.
- Kim, J. y Shao, 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.
- Klein, B. (1958). The “Dry” Silver Method and Its Proper Use. *The Journal of Protozoology* 5(2), 99–103.
- Kovalchuk, A. (2017a). Ciliates in fish-breeding ponds of Kyiv region I, Plankton. *Fisheries science of Ukraine* 2, 31-44.
- Kovalchuk, A. (2017b). Ciliates in fish-breeding ponds of Kyiv region. II, Demersal plankton. *Fisheries science of Ukraine* 4, 26-36.
- Kovalchuk, A. (2017c). Ciliates in fish-breeding ponds of Kyiv region. III, Benthos. *Fisheries science of Ukraine* 3, 26-36.
- Küppers, G., Claps, M. y Lopretto, E. (2009). Ciliates (Protozoa) from dried sediments of a temporary pond from Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80, 581-592.
- Lee, R. y Kugrens, P. (1992). Relationship between the Flagellates and the Ciliates. *Microbiological Reviews* 56, 529-542.
- Li, J., Li, M. G., Yang, J., Ai, Y., y Xu, R. L. (2010). Community characteristics of soil ciliates at Baiyun Mountain, Guangzhou, China. *Zoological Studies* 49(6), 713-723.
- López-Ochoterena, E. (1965). Ciliados mesosaprobicos de Chapultepec (sistemática, morfología, ecología). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 25, 115-247.
- Lugo-Vázquez, A. (1993). *Estudio de las comunidades litorales de protozoarios en seis lagos cráter del estado de Puebla, mediante el método de colonización de sustratos artificiales*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 76 pp.
- Lugo-Vázquez, A. (2000). *Variación espacial y temporal de la estructura de la comunidad planctónica del lago Alchichica, Puebla, con algunos aspectos de interacciones tróficas*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- López-Velázquez, C. (2022a, 31 de enero). Sequía golpea a más de 300 municipios de Oaxaca. *NVI Noticias Oaxaca*. <https://www.nvinoticias.com/oaxaca/general/sequia-golpea-mas-de-300-municipios-de-oaxaca/125389>
- López-Velázquez, C. (2022b, 23 de abril). Oaxaca es un horno: se registran olas de calor históricas durante 2022. *NVI Noticias Oaxaca*. <https://www.nvinoticias.com/oaxaca/general/oaxaca-es-un-horno-se-registran-olas-de-calor-historicas-durante-2022/129684>

- Lugo-Vázquez, A., Alcocer, J., Sanchez, M., y Escobar, E. (1998a). Littoral protozoan assemblages from two Mexican hyposaline lakes. *Hydrobiologia* 381, 9-13.
- Lugo-Vázquez, A., Bravo-Inclán, A., Alcocer, J., Gaytán, L., Oliva, G., Sánchez, R., Chávez, M. y Vilaclara, G. (1998b). Effect on the planktonic community of the chemical program used to control water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Guadalupe Dam, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 1(3-4), 333-343.
- Lugo-Vázquez, A., Sánchez-Rodríguez, M. R., Morlán-Mejía, J., Peralta-Soriano, L., Arellanes-Jiménez, E., Escobar-Oliva, M., y Oliva-Martínez, M. (2017). Ciliates and trophic state: A study in five adjacent urban ponds in Mexico City. *Journal of Environmental Biology* 38(6), 1161-1169.
- Luna-Pabello, V. (1993). *Estudio comparative de las poblaciones de protozoarios ciliados en un reactor de biodiscos alimentado con diferentes substratos*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lynn, D. (2006). Ciliophora. *Encyclopedia Of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Lynn, D. (2008). *The ciliated protozoa: characterization, classification, and guide to the literature*. Springer Science & and Business Media.
- Lynn, D. (2017). Ciliophora. En Archibald J. M., Simpson A. G. B. y Slamovits, C. H. *Handbook of the Protists*, Springer, Cham.
- Ma, M., Li, Y., Yuan, Q., Zhao, X., Al-Rasheid, K., Huang, J., Ma, H. y Chen, X. (2021). New data define the molecular phylogeny and taxonomy of four freshwater suctorian ciliates with redefinition of two families Heliophryidae and Cyclophryidae (Ciliophora, Phyllopharyngea, Suctoria). *Frontiers in Microbiology* 12, 768724.
- Madrazo-Garibay, M., y López-Ochoterena, E. (1986). Protozoarios Ciliados de México XXVIII. Características Morfológicas y Taxonómicas de veinticinco especies de la Laguna Pom, Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 13 (3), 29.
- Mal, R., Sampaio, I. y Parolin, P. (2015). Biofilter efficiency of *Eichhornia crassipes* in wastewater treatment of fish farming in Amazonia. *International Journal of Experimental Botany* 84, 244-251.
- Martínez-Murillo, M. (1997). *Ciliados asociados a la vegetación sumergida y a las raíces de mangle en la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México*. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 264 pp.
- Martínez-Murillo, M. y Aladro-Lubel, M. (1999). Some ecological aspects of epibiotic sessiline ciliates attached on submerged roots of *Rhizophora mangle* L. in Tamiahua Lagoon, Veracruz, México. *Tropical Ecology* 40(1), 163-166.

- Mayén-Estrada, R. (1997). *Ciliados asociados a Cambarellus patzcuarensis Villalobos, 1943 del Lago de Pátzcuaro, Michoacán*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 308 pp.
- Mayén-Estrada, R., Dias, R., Ramírez-Ballesteros, M., Rossi, M., Reyes-Santos, M., Durán-Ramírez, C., y Cruz-Jiménez, G. (2021). Ciliates as Symbionts. en L. Pereira, & A. M. Gonçalves (Eds.), *Plankton Communities*. IntechOpen.
- Mayén-Estrada, R., Reyes-Santos, M. y Aguilar-Aguilar, R. (2014). Biodiversidad de Ciliophora en México. *Revista mexicana de biodiversidad* 85, S34-43.
- Mayén-Estrada, R., Reyes-Santos, M., Durán-Ramírez, C. A., Medina-Durán, J. H., Olvera-Bautista, J. F. Y., Vicencio-Aguilar, M. E. y Romero-Niembro V. M. (2020). Protistas ciliados y flagelados heterótrofos. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. KT003. Ciudad de México.
- 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, 164 pp.
- 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, 125667.
- Méndez-Sánchez, D., Sánchez-Nava, P. y Mayén-Estrada, R. (2018). Free-living ciliates from a perturbed marsh in central Mexico: some notes about taxonomy and ecology. *Protistology* 12(4), 173-184.
- Miyake, A. (1974). Cell Interaction in Conjugation of Ciliates. *Current Topics in Microbiology and Immunology* 64, 49–77.
- Monroy-Dosta, M.C., De Lara-Andrade, R., Castro-Mejía, J., Castro-Mejía, G. y Coelho-Emerenciano, M. (2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48(3), 511-520.
- Morales-Serna, F., Medina-Guerrero, R., Pimentel-Acosta, C., Ramírez-Tirado, J. y Fajer-Ávila, E. (2018). Parasite infections in farmed Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* in Sinaloa, México. *Comparative Parasitology* 85(2), 212–216.
- Moreno-Rodríguez, G. (1985). *Análisis de protozoarios en un sistema de biodiscos empleado en la planta de tratamiento de C.U.* Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 94 pp.
- Nava-Sierra, L. (2018). *Protozoarios y helmintos en peces bajo régimen de cultivo en el estado de Puebla*. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, 48 pp.
- Noland, L. (1925). A review of the genus *Coleps* with descriptions of two new species. *Transactions of the American Microscopical Society* 44(1), 3-13.

Noland, L. y Finley, H. (1931). Studies on the taxonomy of the genus *Vorticella*. *Transactions of the American Microscopical Society* 50(2), 81-123.

Omar, A. y Jung, J. (2022). New record of five anaerobic ciliate species from South Korea. *Journal of Species Research* 11(2), 108-116.

Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. y Godínez-Siordia, D. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria* 27(5), 19-25.

Osuna-Cabanillas, J., Medina-Guerrero, R., Camacho-Zepeda, S., Morales-Serna, F., y Fajer-Ávila, E. (2022). Prevalence and intensity of trichodinids and monogeneans on farmed tilapia in southwestern Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 9(2).

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, 557-564.

Paredes-Trujillo, A., Mendoza-Carranza, M., Del Río-Rodríguez, R. y Cerqueda-García, D. (2022). Comparative assessment of metazoans infestation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (L.) (Perciformes: Cichlidae) in floating cages and ponds from Chiapas, México. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports* 34, 1-9.

Park, M. y Min, G. (2017). Morphology of one *Frontonia* and two *Spathidium* ciliates (Ciliophora: Intramacronucleata) from Korea. *Journal of Species Research* 6(Special Edition), 63-66.

Pitta, P., Tsapakis, M., Apostolaki, E., Tsagaraki, T., Holmer, M. y Karakassis, I. (2009). 'Ghost nutrients' from fish farms are transferred up the food web by phytoplankton grazers. *Marine Ecology Progress Series* 314, 1-6.

Plough, H. (1916). The genus *Aspidisca* Ehrenberg. *Transactions of the American Microscopical Society* 35(4), 233-244.

Pomeroy, L., Williams, P., Azam, F. y Hobbie, J. (2007). The Microbial Loop. *Oceanography* 20 (2), 28-33.

Potekhin, A., y Mayén-Estrada, R. (2020). *Paramecium* diversity and a new member of the *Paramecium aurelia* species complex described from Mexico. *Diversity* 12(5), 197.

Prescott, D. (1994). The DNA of Ciliated Protozoa. *Microbiological Reviews* 58, 233-267.

Pröschold, T., Rieser, D., Darienko, T., Nachbaur, L., Kammerlander, B., Qian, K., Pitsch, G., Bruni, E., 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(1), 5916.

Przybos, E., Rautian, M., Beliavskaia, A. y Tarez, S. (2019). Evaluation of the molecular variability and characteristics of *Paramecium polycarum* and *Paramecium nephridiatum*, within subgenus *Cypriostomum* (Ciliophora, Protista). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 132, 296-306.

Qu, Z., Pan, H., Gong., Wang, C., Filker, S. y Hu, X. (2022). Historical review of studies on Cyrtophorian ciliates (Ciliophora, Cyrtophorian) from China. *Microorganisms* 10(7), 1325.

Rahman, M., Nagelkerke, L., Verdegem, M., Wahab, M., y Verreth, J. (2008). Relationships among water quality, food resources, fish diet and fish growth in polyculture ponds: a multivariate approach. *Aquaculture* 275(1-4), 108-115.

Reichenbach-Klinke, H.H. 1982. *Enfermedades de los peces*. Editorial Acribia, España. 524 pp.

Reyes-Santos, M. (2001). *Taxonomía y distribución de los ciliados epibiontes de Phyllospadix en la costa occidental de Baja California, México*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 90 pp.

Rivera, F., Castro, F., Moreno, G., Lugo, A., Gallegos, E., y Norouzian, M. (1988). Protozoa of a rotating biological contactor treatment plant in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution* 42, 281-301.

Rivas-Beltrán, M., Islas-Ortega, A.G., Contreras-Medina, R., 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 area. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(5).

Rivera, F., Sánchez, M. R., Lugo, A., Ramírez, P., Ortiz, R., & Calderón, A. (1987). Ciliates in a waste stabilization pond system in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution* 34, 245-262.

Rodríguez-Rodríguez, R. (1996). Aspectos microbiológicos de un reactor de película biológica denominado "Biocinia". Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 95 pp.

Rodríguez-Santiago, M. (2002). *Identificación de especies ectoparásitas del género Trichodina (Ciliophora: Peritrichida) en tilapia nilótica mediante correlación invariante con filtros compuestos*. Tesis de Maestría. Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Mazatlán, México, 112 pp.

Rodríguez-Santiago, M., Álvarez-Borrego, J., Fajer-Ávila, E., Iannaccone, J. y Fernández-Martínez, C. (2021). Correlación invariante con filtros compuestos específicos para el reconocimiento de tricodínidos (Ciliophora: Peritrichida) parasitando *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) basados en métodos morfológicos. *Neotropical Helminthology* 15(2), 179-191.

Rosati, G., Verni, F., Bracchi, P. y Dini, F. (1987). An ultrastructural analysis of the ciliated protozoa *Aspidisca* sp. *Transactions of the American Microscopical Society* 106(1), 31-52.

Rosset, V., Angélibert, S., Arthaud, F., Bornette, G., Robin, J., Wezel, A., Vallod, D. y Oertli, B. (2014). Is eutrophication really a major impairment for small waterbody biodiversity? *Journal of Applied Ecology* 51, 415-425.

Ruiz, P., Vidal, J., Sepúlveda, D., Torres, C., Villouta, G., Carrasco, C., Aguilera, F., Ruiz-Tangle, N. y Urrutia, H. (2019). Overview and future perspectives of nitrifying bacteria on biofilters for recirculating aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 12(3), 1–17.

Rurangwa, E. y Verdegem, M. (2014). Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in Aquaculture* 5, 1-14.

Sánchez-Rodríguez, M. (1994). *Colonización de sustratos artificiales por protozoos ciliados como un método de evaluación de la eficiencia de depuración de estanques de estabilización*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 133 pp.

Sawaya, M. (1940). Sobre um ciliado novo de S. Paulo: *Blepharisma sinuosum* sp. n. (Ciliata, Heterotricha) e sobre a sub-ordem Odontostomata, nom. nov. *Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Zoologia* 4(4), 303-308.

Schreier, H., Mirzoyan, N. y Saito, K. (2010). Microbial diversity of biological filters in recirculating aquaculture systems. *Current Opinion in Biotechnology* 21, 318–325.

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

Shao, C., Lu, X. y Ma, H. (2014). A general overview of the typical 18 frontal-ventral-transverse cirri Oxytrichidae s. l. genera (Ciliophora, Hypotrichia). *Journal of Ocean University of China* 14, 522-532.

Shinn, A., Avenant-Oldewage, A., Bondad-Reantaso, M., Cruz-Laufer, A., García-Vásquez, A., Hernández-Orts, J., Kuchta, R., Longshaw, M., Metselaar, M., Periselle, A., Pérez-Ponce de León, G., Kumar, P., Rubio-Godoy, M., Sood, N., Vanhove, M y Deveney, M. (2023). A global review of problematic and pathogenic parasites of farmed tilapia. *Reviews in Aquaculture* 15, 92-153.

Sipaúba-Tavares, L.H., Da Silva-Peres, L., y Scardoelli-Truzzi, B. (2019). Treatment of frog farming with *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. *Plants and Environment* 1(1), 31-39.

Sipaúba-Tavares, L.H., y Días, S.G. (2014). Water quality and communities associated with macrophytes in a shallow water-supply reservoir on an aquaculture farm. *Brazilian Journal Biology* 74(2), 420-428.

Sipaúba-Tavares, L.H., Fávero, E. y Braga, F. (2002). Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: 1. Floating plant. *Brazilian Journal of Biology* 62(4A), 713-72.

- Sipaúba-Tavares, L.H., Scardoelli-Truzzi, B., Milstein, A. y Marcari-Marques, A. (2017). Associated fauna to *Eichhornia crassipes* in a constructed wetland for aquaculture effluent treatment. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research* 19(1), 29-42.
- Slabodnick, M. y Marshall, W. (2014). *Stentor coeruleus*. *Current Biology* 24(17), R783-R784.
- Song, W., y Wilbert, N. (2002). Faunistic studies on marine ciliates from the Antarctic benthic area, including descriptions of one epizoic form, 6 new species and, 2 new genera (Protozoa: Ciliophora). *Acta Protozoologica* 41(1), 23-62.
- Stoeck, T., Kochems, R., Forster, D., Lejzerowicz, F., y Pawlowski, J. (2018). Metabarcoding of benthic ciliate communities show high potential for environmental monitoring in salmon aquaculture. *Ecological Indicators* 85, 153-164.
- Sun, P., Clamp, J., Xu, D., Huang, B., Shin, M., y Turner, F. (2013). An ITS-based phylogenetic framework for the genus *Vorticella*: finding the molecular and morphological gaps in a taxonomically difficult group. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280(1771), 20131177.
- Téllez-Nogués, C. (2015). *Morfología cortical y morfogénesis en tres géneros de escuticociliados filasterinos (Uronema, Cinetochilum y Sathrophilus)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 329 pp.
- Teyer-Santiago, H., Godínez-Pérez, C. M., Lemus-Hurtado, S., López-Ramírez, J. M., Cruz-Avenidaño C. M., Hernández-Pérez V. R. e Islas-Ortega, A. G. (2021). First record of free-living ciliates (Alveolata) from Cacalotenango fall, Guerrero, México. *Boletín de la Sociedad Zoológica Uruguaya* 30(1), 65-69.
- Valladão, G., Alves, I. y Pilarski, F. (2016). Trichodiniasis in Nile tilapia hatcheries: Diagnosis, parasite: host-stage relationship and treatment. *Aquaculture* 451, 444-450.
- Vanacker, M., Wezel, A., Arthaud, F., Guérin, M. y Robin, J. (2016). Determination of tipping points for aquatic plants and water quality parameters in fishpond systems: A multi-year approach. *Ecological Indicators* 64, 39-48.
- Wancura, M., Yan, Y., Katz, L. y Maurer-Alcala, X. (2018). Nuclear features of the heterotrich ciliate *Blepharisma americanum*: genomic amplification, life cycle, and nuclear inclusion. *Journal of Eukaryotic Microbiology* 65(1), 4-11.
- Warren, A. (1986). A revision of the genus *Vorticella* (Ciliophora: Peritrichida). *Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology* 50, 1-57.
- Webber III, C., Shrefler, J. y Taylor, M. (2014). Adjuvants affect duckweed (*Lemna minor*) control with pelargonic acid. *Journal of Agricultural Science* 6(12), 1-8.

Wenrich, D. (1928). Eight well-defined species of *Paramecium* (Protozoa, Ciliata). *Transactions of the American Microscopical Society* 47(3), 275-282.

Wichterman, R. (1986). *The biology of Paramecium*. Springer science and business media.

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

Zamora-Mendoza, M. D. M. (1995). *Efectos de algunos detergentes sobre los protozoarios presentes en los lodos activados de una planta de tratamiento*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 173 pp.

Zang, G., Chi, Y., Wang, Z., Wang, Y., Liu, R., Warren, A., Zhao, Y. y Pan, H. (2022). Taxonomic and phylogenetic studies on two new freshwater Amphileptus species (Ciliophora, Pleurostomatida), from Lake Weishan, northern China. *European Journal of Protistology* 82, 125854.

Zhang, X., Wang, Y., Fan, Y., Luo, X., Hu, X. y Gao, F. (2017). Morphology, ontogeny and molecular phylogeny of *Euplotes aediculatus* Pierson, 1943 (Ciliophora, Euplotida). *Biodiversity Science* 25(5), 549-560.

Zheng, B., Zhao, X., Ye, T., Huang, J., Vallesi, A., Jiang, Y. y Chen, X. (2022). Morphology and molecular phylogeny of two new *Aspidisca* species (Ciliophora, Spirotrichea, Euplotida) collected from subtropical coastal waters in China. *Frontiers in Marine Science* 9, 970692.

Anexo I

Técnicas de tinción con Hematoxilina de Harris

Reactivos:

- Hematoxilina de Harris sin diluir
- Alcohol etílico al 50%
- Alcohol etílico al 70%
- Alcohol etílico al 96%
- Alcohol etílico al 100%
- Xilol
- Bálsamo de Canadá

Procedimiento:

Con ayuda de una pipeta, se coloca una gota de muestra al centro de un portaobjetos y se deja secar. Una vez seca se le agrega la Hematoxilina de Harris cubriendo completamente la muestra durante diez minutos. Después de ese tiempo se lava con agua destilada, posteriormente con agua corriente y se observa bajo el microscopio para confirmar la tinción de la muestra. Una vez realizado lo anterior, se deshidrata en un tren de alcoholes donde el primer alcohol es al 50%, después al 70%, posteriormente al 96% y finalmente al 100%, en este último pasa dos veces (en cada alcohol la muestra permanece cinco minutos). Posteriormente, la muestra se cubre con xilol durante cinco minutos. Finalmente se monta con bálsamo de Canadá.

Anexo II

Técnica de impregnación con plata en “seco” de Klein

Reactivos:

- Nitrato de Plata al 5%
- Bálsamo de Canadá

Procedimiento:

Con ayuda de una pipeta, se coloca una gota de muestra al centro de un portaobjetos y se deja secar. Una vez seca se le agrega el Nitrato de Plata al 5% cubriendo completamente la muestra durante cinco minutos. Después de ese tiempo se lava dos veces con agua destilada y el portaobjetos se coloca bajo una lámpara de luz UV por cinco minutos evitando que la muestra se seque. Una vez transcurrido el tiempo, se retira de la lámpara, se revisa al microscopio óptico y se deja secar. Finalmente se monta con bálsamo de Canadá.