

# Abundancia y distribución de ciliados pláncnicos en el lago Catemaco, en temporada de secas

María del Rosario Casique Fernández, Alfonso Esquivel Herrera, Ruth Soto Castor y Celia Bulit<sup>1</sup>

**Resumen.** *El estudio de los ciliados del plancton en lagos de México está en etapas iniciales. El lago Catemaco tiene una función histórica, social y económica destacada, y de acuerdo con ese contexto se estudió la composición, abundancia y distribución de los ciliados. Dominaron los oligotricos y la abundancia total de ciliados varió entre 2 y 57 cél ml<sup>-1</sup>. Se analizó la variabilidad espacio-temporal de la abundancia y se caracterizó la relación entre factores ambientales y biológicos mediante un análisis de componentes principales. Se encontraron diferencias significativas en la abundancia al combinar mes y sitio de colecta, pero no entre sitios de colecta ni entre distintas profundidades, lo cual refleja el carácter polimíctico del lago. Las reducidas proporciones atómicas N:P, la elevada concentración de clorofila a y la turbidez, la dominancia de cianobacterias en el fitoplancton y la abundancia intermedia de ciliados permiten considerar al lago en temporada de secas como un cuerpo de agua mixto, con características de ambientes meso y eutróficos.*

**Palabras clave:** *Microplancton, Lago polimíctico, Variabilidad espacial.*

<sup>1</sup> Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: celiabulit@gmail.com.

**Abstract.** *The ecological study of planktonic ciliates in Mexican lakes is in its initial stages. Lake Catemaco has a historical, social and economic major role. In this context the composition, abundance, and distribution of ciliates were studied. Oligotrichs were dominant and total abundance of ciliates varied between 2 and 57 cel ml<sup>-1</sup>. The spatial and temporal variability in the abundance of ciliates was analyzed and relationships among environmental variables and ciliates abundance were characterized using a principal component analysis. No significant differences between collection sites or between surface and bottom depths were found, but between month and collection site combined, which reflects the polymixis effects. Reduced N:P atomic ratios, high chlorophyll concentrations and turbidity, cyanobacteria dominance and ciliate abundance allow characterizing the lake during the dry season as one intermediate between meso and eutrophic lakes.*

**Key words:** *Microplankton, Polymictic lake, Spatial distribution*

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el estudio de los ciliados pláncnicos en ambientes dulceacuícolas se ha visto impulsado por nuevos conocimientos acerca de su relevancia en el circuito microbiano, todo ello a partir del trabajo de Azam *et al.* (1983) y de numerosos estudios posteriores (Jurgens y Jørgensen, 2000; Wiackowski *et al.*, 2001; Montagnes *et al.*, 2008; Aleya *et al.*, 2009, entre otros). Sin embargo, en lagos tropicales los trabajos distan del alcance de los realizados en lagos templados y fríos aun cuando los ciliados constituyen un enlace trófico significativo por ser consumidores de bacterioplancton y fitoplancton, y presas de protistas mayores, de otros organismos del zooplancton y de larvas de peces (Moustaka-Gouni *et al.*, 2006; Zingel y Noges, 2008; Montagnes *et al.*, 2010).

En lagos de diferentes latitudes y de distintos estados tróficos se ha abordado el estudio de la abundancia, distribución y diversidad de cilia-

dos, y su papel en el flujo de energía y la regeneración de nutrimentos (Hecky y Kling, 1981; Pace y Orcutt, 1981; Beaver y Crisman, 1982; Beaver *et al.*, 1988; Taylor y Heynen, 1987). Los escasos estudios sobre ciliados del plancton en lagos tropicales se han realizado principalmente en Brasil (Barbieri y Godinho, 1989; Gomes y Godinho, 2003; Velho *et al.*, 2005), en Filipinas (Lewis, 1985), en el este africano (Burian *et al.*, 2013), entre otros ejemplos. En México existen estudios puntuales e intensivos, particularmente sobre diferentes aspectos tróficos de ciliados en lagos tipo cráter, como el de Alchichica (Macek *et al.*, 2006; Macek *et al.*, 2008; Peštova *et al.*, 2008; Bautista-Reyes y Macek, 2012). Sin embargo, son escasos los trabajos sobre aspectos ecológicos de ciliados plánticos en cuerpos de agua epicontinentales (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2011). Considerando que estos cuerpos de agua tienen una función histórica, social y económica en su vínculo con las poblaciones aledañas y están sujetos a la explotación de recursos, al uso recreacional, y adicional a que son reservorios de diversidad biológica, es necesario considerar sus diferentes aspectos.

El lago Catemaco es uno de los sistemas lacustres más importantes del país por su producción pesquera comercial y local (Sagarpa, 2007). Se localiza en una ecorregión hidrológica cuya conservación está amenazada y requiere acciones remediadoras (Lara-Lara *et al.*, 2008); además, en años recientes, la producción del caracol tegogolo y de peces endémicos se ha visto mermada de acuerdo con los testimonios de los pescadores, aun cuando en el periodo de 1980-1989 hubo un incremento de 65% en todas las capturas del lago (Torres-Orozco *et al.*, 1997), que aumentaron de 1310 a 2095 t, con un rendimiento promedio de 276 kg ha<sup>-1</sup>. Esta captura representa el segundo lugar en producción de los cuerpos de agua epicontinentales del país (Torres-Orozco y Pérez-Rojas, 1995).

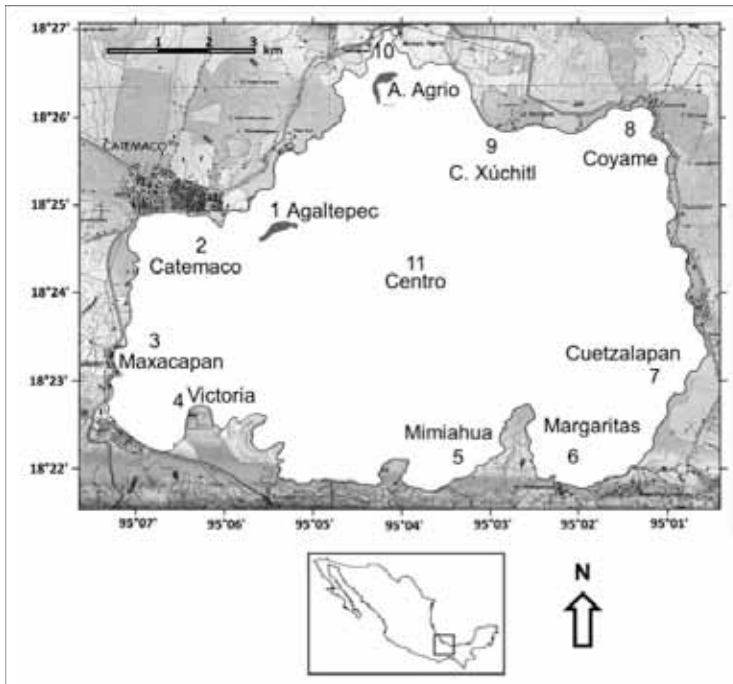
En este contexto, los objetivos de este trabajo son: 1) caracterizar a nivel general la composición, la abundancia y distribución de los ciliados del plancton, y 2) estimar la influencia de los factores ambientales sobre la abundancia y distribución espacial en diferentes profundidades y en distintos sitios del lago.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El lago Catemaco forma parte de la cuenca del río Papaloapan, y se localiza en el macizo volcánico de Los Tuxtlas al sureste del estado de Veracruz (18° 21'-18°27' N y 95° 01'-95 07' O). Con una superficie de 72.5 km<sup>2</sup> es uno de los diez lagos naturales más extensos de México, polimíctico, con una profundidad máxima de 22.5 m y temperatura anual del agua entre 23 y 28 °C (Figura 1, Pérez-Rojas y Torres-Orozco, 1992).

**Figura 1. Ubicación geográfica del lago Catemaco, localización de los sitios de muestreo y toponimia.**



El clima de la zona es cálido-húmedo, con lluvias en verano y principalmente en otoño. La precipitación media anual oscila en alrededor de 4900 mm, y aunque llueve todo el año, es posible distinguir una época de “lluvias”, de junio a febrero, y otra de “secas”, de marzo a mayo (Torres-Orozco *et al.*, 1996). Debido a la cercanía con la costa, el área es afectada directamente por los “nortes” vientos que ocurren durante el invierno y que provocan descenso de temperatura y lluvia, como ocurrió durante el trabajo de campo de mayo.

Hace décadas el lago estuvo circundado por selva alta perennifolia (Torres-Orozco y Pérez-Rojas, 1995), pero actualmente los terrenos adyacentes han sido deforestados y se utilizan para fines agrícolas y ganaderos. Varios arroyos desembocan en el lago, y en el margen nor-noreste existen manantiales de aguas carbonatadas (Pérez-Rojas, 1984).

## Colecta y análisis de las muestras

Para este estudio se tomaron muestras de agua de superficie y de fondo (30 cm aproximadamente por sobre el sustrato) de todas las variables estudiadas, en 11 sitios representativos de los ambientes del lago, en marzo y mayo de 2011, durante la temporada seca (Figura 1). En cada sitio se midió la profundidad con un cable lastrado y una cinta métrica, y la transparencia con un disco de Secchi de 0.3 m de diámetro. La temperatura y la conductividad se registraron con un termohalinoconductivímetro YSI; el pH se midió con un potenciómetro Hanna; el oxígeno disuelto se determinó por el método de Winkler (APHA *et al.*, 1992) y la velocidad del viento se midió con un anemómetro Maximum.

Para determinar la concentración de amonio, nitritos, nitratos y fósforo reactivo soluble se obtuvieron muestras de agua de 250 ml, que se filtraron por medio de filtros Whatman GF/F y se procesaron siguiendo métodos espectrofotométricos estandarizados (APHA, *et al.*, 1992). Una vez obtenidos los resultados, se calculó la proporción N:P para establecer cuál

fue el elemento limitante (Phlips *et al.*, 1997; Havens *et al.*, 2003; Schindler *et al.*, 2008). También se estimó la concentración de clorofila *a* por espectrofotometría de acuerdo con la técnica de Jeffrey y Humphrey (1975).

Para la identificación y el recuento de los ciliados del microplancton se fijaron 100 ml de agua con solución ácida de Lugol (2% v/v). Dado que la variabilidad de los ciliados entre sitios de muestreo y entre niveles (superficie y fondo) no fue estadísticamente significativa, de acuerdo con los análisis realizados, no se hicieron los conteos de las réplicas, aun cuando las muestras se colectaron por duplicado. Se siguió la técnica de Utermöhl (Hasle, 1978), y se sedimentó una muestra de 10 ml durante 24 horas en una cámara de sedimentación y se contaron todos los ciliados del fondo; la abundancia se expresó en cél ml<sup>-1</sup>. Como la fijación con Lugol oscurece estructuras y detalles necesarios para la identificación (Jerome *et al.*, 1993), la información sobre la composición taxonómica es limitada.

Adicionalmente, las muestras se blanquearon con tiosulfato de sodio y se tiñeron con DAPI (4,6-diamidino-2 fenilindol; concentración final 2.25 µg por 10 ml; Strüder-Kypke *et al.*, 2002) en la misma cámara de sedimentación para observar y caracterizar los núcleos de los ciliados. Se utilizó un microscopio invertido Zeiss Axiovert 25 CFI equipado con epifluorescencia, y los recuentos fueron realizados con magnificaciones de 400× y 1000×. Se identificaron los ciliados al menor nivel taxonómico posible usando el sistema de clasificación de Lynn (2008), así como los trabajos de Foissner y Berger (1996) y de Foissner *et al.* (1999).

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se determinaron los valores mínimos, máximos y el promedio de los resultados de factores fisicoquímicos y biológicos en los 11 sitios de muestreo. Se elaboró un diagrama de caja y bigote con el programa SigmaPlot 12 para analizar la dispersión alrededor de la mediana. También se obtuvo un diagrama para el intervalo de confianza de la media al 95%, en combinaciones de los factores: sitio de muestreo y mes, con el programa Statistica 7.

Adicionalmente y para analizar y comparar la variabilidad espacial y temporal de la abundancia de ciliados entre los 11 sitios de muestreo, entre profundidades de la columna de agua (superficie y fondo), y entre diferentes meses (marzo y mayo), se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, por las razones que enunciaremos en el apartado de Resultados.

Para analizar la relación entre los factores ambientales considerados y la abundancia de los ciliados, se hizo un análisis de componentes principales (ACP). Esta técnica de ordenación permite reducir la información existente a pocas dimensiones que conservan la variación original (Leps y Smilauer, 2003). Para el ACP se emplearon las siguientes variables: temperatura del agua, profundidad, transparencia, velocidad del viento, pH, oxígeno disuelto, conductividad, nutrientes de nitrógeno, fósforo reactivo soluble, clorofila a y la abundancia de ciliados, utilizando el programa Statistica 7.

## RESULTADOS

### Variables ambientales y biológicas

En la temporada seca se registraron variaciones generales en los factores ambientales del lago: los promedios de los 11 sitios de muestreo y los rangos se presentan en el cuadro 1. Así, la temperatura del agua osciló entre 21 y 29 °C, y el oxígeno disuelto fluctuó entre 2.2 y 9.3 mg l<sup>-1</sup>, con un porcentaje de saturación de 26 y 108.9 %, respectivamente. El pH varió de alcalino (9.0) a ligeramente ácido (6.3) entre marzo y mayo. En mayo, la velocidad del viento fue en aumento y las aguas del lago estuvieron más turbias, con una transparencia máxima que se redujo de 1.20 a 0.73 m con respecto a marzo. En algunos sitios la turbidez fue elevada y sólo una décima parte de la columna de agua puede considerarse capa eufótica, calculada con base en la profundidad del disco de Secchi (Wetzel, 2001; Edmonson, 2005).

Las concentraciones de nutrientes de nitrógeno fueron relativamente bajas, mientras que las de fósforo reactivo soluble fueron elevadas en general (Cuadro 1). Los valores extremos de la relación atómica N:P fueron 0.03 y 2.00, en aguas de superficie en marzo, resultados indicativos de que los nutrientes de nitrógeno son limitantes. Entre los factores biológicos, la concentración de clorofila *a* en la temporada de secas tuvo un rango de variabilidad entre 13.08 mg m<sup>-3</sup>, y 153.8 mg m<sup>-3</sup>, y fue elevada en general. Las mayores concentraciones se encontraron en aguas de 3 m de profundidad, cercanas al fondo, en la estación 5 del sur del lago (Figura 1).

**Cuadro 1. Variables ambientales, nutrientes y clorofila del lago Catemaco en temporada de secas.**

	Marzo		Mayo	
Viento (m s <sup>-1</sup> )	2 (0-4)		2 (0-6)	
Profundidad (m)	3 (1.10-7.60)		3 (0.55-10)	
Transparencia (m)	0.80 (0.66-1.20)		0.65 (0.55-0.73)	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Temperatura (°C)	24.7 (23.3-25.8)	24.3 (23.2-25.3)	26.4 (25-29)	26.3 (21-29)
Conduct. (μS cm <sup>-1</sup> )	135.8 (126.4-206.5)	138.1 (125.1-226.5)	132.9 (50.2-173.6)	168.7(105.5-464.4)
pH	8.1 (7.2-9)	7.7 (7.2-8.3)	7.5 (6.6-8.3)	7.4 (6.3-8.4)
O <sub>2</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	5.9 (2.2-8)	5.3 (3.9-9.3)	4.1 (3-6.7)	3.6 (2.6-4.8)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	1.40 (0-6.52)	1.38 (0.21-2.85)	1.60 (0.04-5.20)	2.21(0.46-3.74)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	0.22 (0-0.85)	0.21 (0-0.84)	0.35 (0-1)	0.36 (0-1)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	3.94 (0.18-10.4)	3.75 (0-9.1)	2.08 (0-5.35)	3.4 (0-10.9)
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM)	3.19 (1.27-10.2)	8.99 (1.33-44.1)	3.61 (1.37-11.6)	2.27 (0.63-4.15)
Relación N:P	0.74 (0.03-2)	0.52 (1.34-0.08)	0.68 (0.09-1.09)	1.23 (1.71-0.73)
Clorofila <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )	62.47(19.88-100.2)	62.41(16.87-100.9)	96.66(25.23-129.6)	99.47 (13.08-153.8)

Nota: Se presentan los promedios de los 11 sitios de muestreo y los rangos entre paréntesis.



Las observaciones cualitativas del fitoplancton indican que las cianobacterias de los géneros *Cylindrospermopsis*, *Planktolyngbya* y *Aphanothece* fueron muy abundantes, y también se presentaron diatomeas del género *Aulacoseira*, clorofitas y dinoflagelados, aunque en menor cantidad. En las cámaras de sedimentación los organismos del metazooplancton fueron rotíferos de los géneros *Brachionus* y *Keratella*, nauplios de copépodos, larvas cercaria y escasos cladóceros.

## COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LOS CILIADOS PLÁNTICOS

Se identificaron 20 géneros de ciliados en el plancton del lago en temporada de secas (Cuadro 2), y se distinguieron 6 morfotipos diferentes que no pudieron ser identificados. Los oligotricos *Rimostrombidium* sp. y *Pelagostrombidium* sp. dominaron en abundancia con 39 cél ml<sup>-1</sup> y 53 cél ml<sup>-1</sup>, en promedio, respetivamente, seguidos por *Mesodinium* sp. con 21 cél ml<sup>-1</sup>; *Pelagohalteria* sp., *Limnostrombidium* sp., *Belonophrya* sp. y *Actinobolina* sp. siguieron en frecuencia. El tamaño de *Rimostrombidium* y *Mesodinium* varió entre 20 y 35  $\mu\text{m}$ , el de *Pelagostrombidium* entre 40 y 65  $\mu\text{m}$ , mientras que los restantes midieron entre 40 y 100  $\mu\text{m}$ .

La abundancia total de ciliados del plancton osciló entre 2 (sitio 7 en mayo), y 57 cél ml<sup>-1</sup> (sitio 4 en mayo), en tanto que el promedio general fue 26 cél ml<sup>-1</sup> (Cuadro 3).

**Cuadro 2. Géneros de ciliados encontrados en el lago de Catemaco, de acuerdo con la clasificación de Lynn (2008).**

Orden Heterotrichida
Condylostoma sp.
Linostomella sp.
Orden Choreotrichida
Pelagostrombidium sp.
Rimostrombidium sp.
Orden Stichotrichida
Hypotrichidium sp.
Orden Sporadotrichida
Pelagohalteria sp.
Orden Strombidiida
Limnostrombidium sp.
Orden Haptorida
Actinobolina sp.
Belonophrya sp.
Monodinium sp.
Lacrymaria sp.
Paradileptus sp.
Lagynophrya sp.
Orden Cyclotrichiida
Mesodinium sp.
Orden Pleurostomatida
Litonotus sp.
Orden Nassulida
Obertrumia sp.
Orden Prorodontida
Coleps sp.
Pelagothrix sp.
Orden Bursariomorphida
Paracondylostoma sp.
Orden Peniculida
Frontonia sp.

**Cuadro 3. Abundancia de ciliados del plancton en los 11 sitios estudiados, en aguas de superficie y de fondo.**

Estaciones	Marzo		Mayo	
	Superficie cél ml <sup>-1</sup>	Fondo cél ml <sup>-1</sup>	Superficie cél ml <sup>-1</sup>	Fondo cél ml <sup>-1</sup>
1. Agaltepec	22	32	15	25
2. Catemaco	28	24	25	31
3. Maxacapan	44	37	36	37
4. Victoria	28	32	49	57
5. Mimiahua	10	13	38	22
6. Margaritas	20	6	49	37
7. Cuetzalapan	26	35	2	5
8. Coyame	17	26	18	29
9. C. Xúchitl	22	24	30	30
10. Arroyo Agrio	19	8	31	14
11. Centro	23	20	30	37
Promedio	24	23	29	29
<b>Promedio gral.</b>	<b>26</b>			

En la figura 2 se presenta la distribución de la abundancia de ciliados con respecto a la mediana de los 11 sitios en aguas superficiales y de fondo. Se observa que las medianas son mayores en mayo, que en la estación seca, y las distribuciones de los valores no son simétricas respecto a la mediana, por lo que no son normales. El diagrama también indica diferencias en la dispersión de los datos entre los distintos grupos, por lo que no se cumple el requisito de homocedasticidad para un ANDEVA paramétrico. Por las razones indicadas se hizo un análisis de Kruskal-Wallis (Sokal y Rohlf, 1979).

**Figura 2. Diagramas de cajas y bigotes que indican la distribución por cuartiles de la abundancia de ciliados en aguas de superficie y de fondo de los 11 sitios de trabajo.**

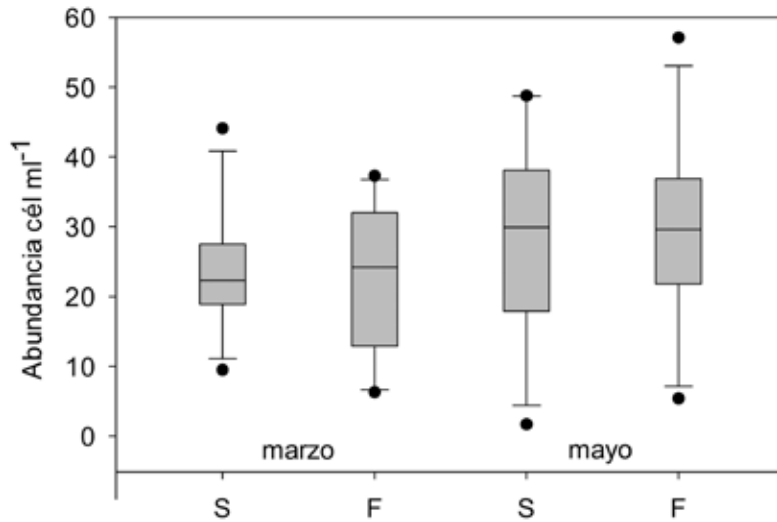


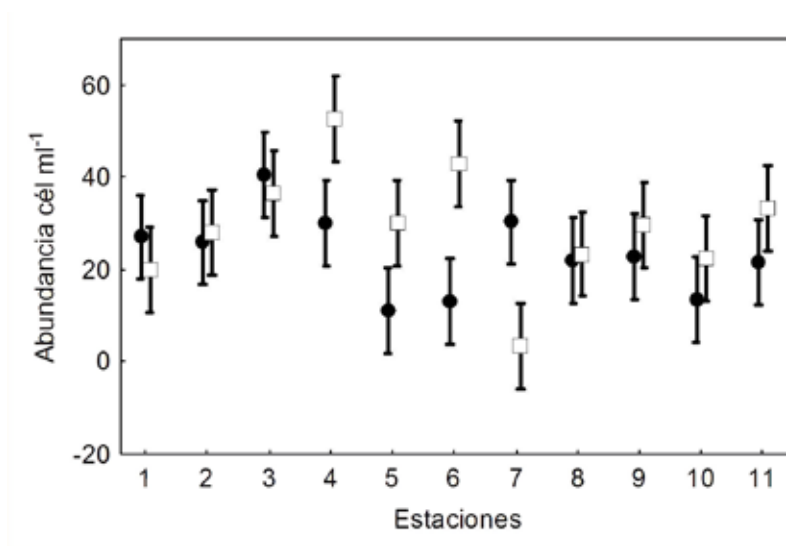
Figura 2. Casique et al.

La línea al interior de la caja representa la mediana de la abundancia en 11 sitios, los extremos de la caja: el primer y el tercer cuartiles, y los círculos señalan los valores atípicos.

Para explorar los efectos de las combinaciones de mes, profundidad de muestreo y sitio, se elaboró una gráfica de los intervalos de confianza de la media al 95%. Se observaron diferencias en la abundancia de ciliados en la combinación de mes y sitio de muestreo (Figura 3). Sin embargo, los resultados del análisis de Kruskal-Wallis indican que las diferencias observadas en la abundancia de ciliados en los 11 sitios de muestreo no fueron significativas ( $\alpha=0.05$ ,  $H=15.87$ ,  $p=0.10$ ; Cuadro 4). Tampoco existieron diferencias significativas entre las abundancias de ciliados a distintas

profundidades ( $H=0.06$ ,  $p=0.81$ ), ni entre las abundancias en marzo y en mayo ( $H=3.02$ ,  $p=0.08$ ). Con base en dichos resultados se graficó la distribución espacial de los promedios de abundancia por sitio de muestreo. En marzo, en los sitios 3, 4 y 7 se encontraron las mayores abundancias, y en el sitio 10, la menor. En cambio, en mayo las abundancias mayores se encontraron en los sitios 4, 6 y 11, y la menor en el sitio 7 (Figuras 4 y 5).

**Figura 3. Intervalos de confianza de la abundancia de ciliados en marzo y en mayo, en los 11 sitios de muestreo.**



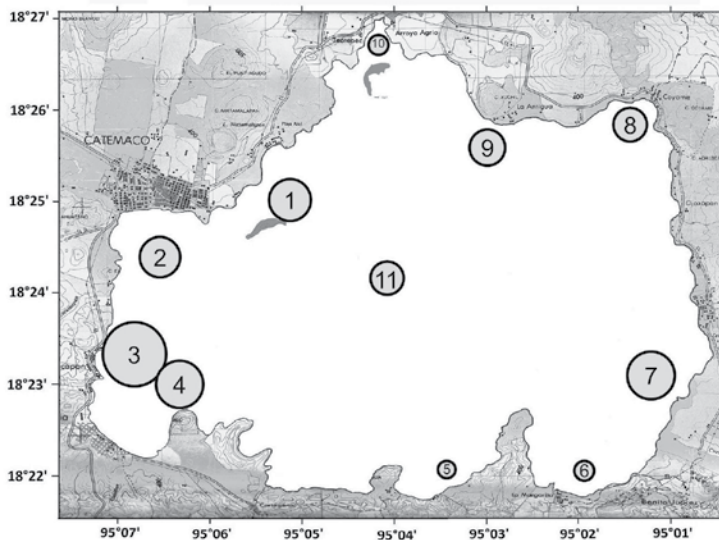
Los círculos representan los datos de marzo; los cuadrados, los de mayo e indican el valor medio de abundancia, mientras que las barras corresponden al intervalo de 95% de confianza.

**Cuadro 4. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis sobre la abundancia de ciliados del plancton en agua de superficie y agua de fondo de 11 sitios, en marzo y mayo.**

Fuente de variación	G.L.	H	p
Sitio	10 N= 44	15.87	0.10
Nivel	1 N= 44	0.06	0.81
Mes	1 N= 44	3.02	0.08

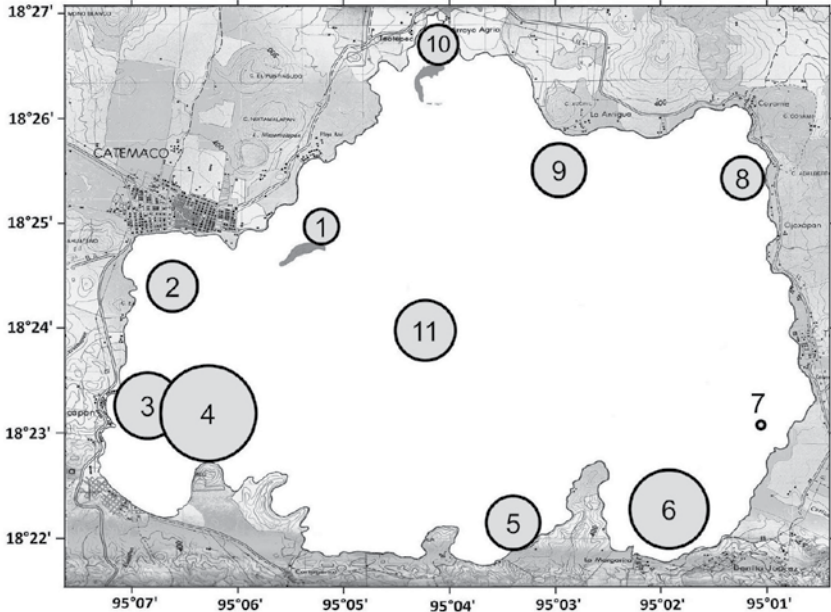
G.L.: grados de libertad, H: valor del estadístico de Kruskal-Wallis, p: probabilidad, N: número de casos.

**Figura 4. Distribución espacial de la abundancia de ciliados en marzo.**



El área de los círculos es proporcional al promedio de abundancia de ciliados de los niveles de superficie y fondo en los 11 sitios de trabajo.

**Figura 5. Distribución espacial de la abundancia de ciliados en mayo.**

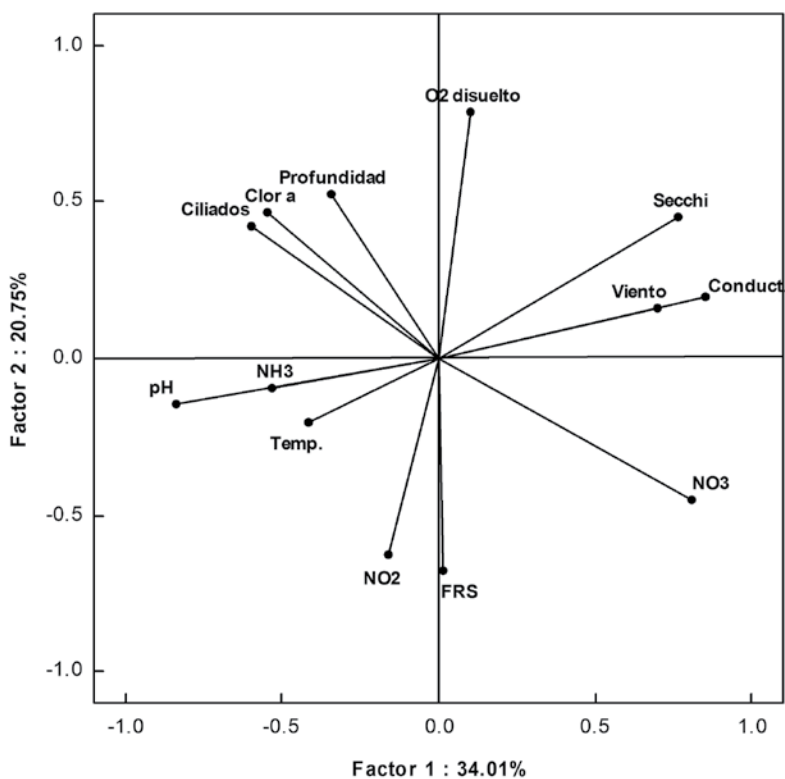


El área de los círculos es proporcional al promedio de abundancia de ciliados de los niveles de superficie y fondo en los 11 sitios de trabajo.

El ACP indica que la estructura en las matrices de variables ambientales y abundancia de ciliados es compleja. Los dos primeros componentes principales explican entre 54.76% y 46.54% de la variación total de los factores considerados en marzo y mayo, respectivamente (Figuras 6 y 7). El diagrama de ordenación de los resultados de marzo muestra que el primer componente está determinado por los pesos opuestos de la conductividad y la velocidad del viento, por un lado, y del pH y la concentración de amonio, por otro. La abundancia de ciliados se asocia en un grupo con la clorofila a. También se aprecian pesos opuestos entre

la abundancia de ciliados y la concentración de nitratos (Figura 6). En mayo, en cambio, el primer componente se relaciona con la concentración de nitratos y la velocidad del viento que muestran pesos opuestos, y la abundancia de ciliados se asocia con el pH en un grupo (Figura 7). Las mayores abundancias de ciliados ocurrieron en las estaciones 4 y 6, donde el pH fue mayor a 8, lo cual explica la alta correlación del ACP.

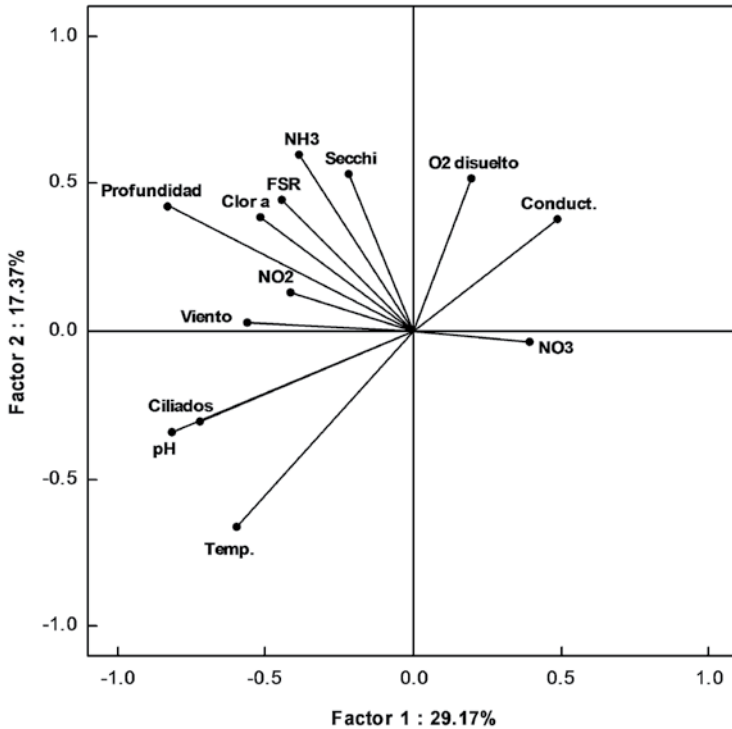
**Figura 6. Diagrama de ordenación basado en el ACP de variables ambientales, biológicas y abundancia de ciliados en marzo.**



FRS: Fósforo Soluble Reactivo, clor a: clorofila *a*, Conduct: Conductividad.



Figura 7. Diagrama de ordenación basado en el ACP de variables ambientales, biológicas y abundancia de ciliados en mayo.



FSR: Fósforo Soluble Reactivo, clor a: clorofila *a*, Conduct: Conductividad.

## DISCUSIÓN

Este primer estudio sobre características básicas de los ciliados del plancton de Catemaco indica que los organismos son taxonómicamente similares a los de otros lagos. Diversos trabajos señalan que la composición taxonómica de los ciliados no muestra cambios notables en lagos con distintos gradientes tróficos y que, en general, dominan los oligotricos (Mathes y Arndt, 1994; Hwang y Heath, 1997; Pfister *et al.*, 2002), lo cual

fue confirmado por van Wichelen *et al.* (2013) en un amplio estudio sobre 66 lagos europeos. Asimismo, la variabilidad en la abundancia encontrada en Catemaco es frecuente entre los ciliados del plancton, aunque su investigación en lagos tropicales es todavía limitada y se concentra en cuerpos acuáticos brasileños, africanos y algunos más (Cuadro 5). En cuanto a tamaño, predominaron ciliados pequeños (20-30  $\mu\text{m}$ ), que son los consumidores dominantes del pico y del nanoplancton en Catemaco, en lugar de los nanoflagelados heterótrofos, que es la condición más común (Beaver y Crisman, 1982; Zingel *et al.*, 2007).

#### Cuadro 5. Abundancia de ciliados en ambientes acuáticos tropicales y subtropicales.

Cuerpo de agua	Estado trófico	Abundancia de ciliados $\text{cél ml}^{-1}$	Referencia
Lago Oglethorpe, EEUU	eutrófico	110 (máx.)	Pace y Orcutt, 1981
Lago Lanao, Filipinas	-	28 (promedio)	Lewis, 1985
Lago Valencia, Venezuela	eutrófico	218 (promedio)	Lewis, 1985
Reservorio Río Grande, Brasil	eutrófico	17	Barbieri y Godinho, 1989
Lago Kinsley, EEUU	oligotrófico	45 (máx.)	Beaver y Crisman, 1990
Lago East Lake, EEUU	mesotrófico	86 (máx.)	Beaver y Crisman, 1990
Lago Scott, EEUU	eutrófico	356	Beaver y Crisman, 1990
Lago Houhu, China	mesotrófico	35.5 (promedio)	Song, 2000
Lago Naini Tal, India	eutrófico	55-116 (mín.-máx.)	Shukla y Gupta, 2001
Lago Victoria, África	mesotrófico	20.1 (promedio)	Yasindi y Taylor, 2003
Lago Monte Alegre, Brasil	eutrófico	389 (S) 97 (F)	Gomes y Godinho, 2003
Reservorio Irai, Brasil	eutrófico	7.2-47.1 (mín.- máx.)	Velho <i>et al.</i> , 2005
Lago Araras, Brasil	-	51.91 (máx.)	Bagatini <i>et al.</i> , 2013
Lago Dongshan, China	-	164.7 (máx.)	Zou <i>et al.</i> , 2013
Lago Catemaco, México	meso-eutrófico	26 (2-57)	Este trabajo

Nota: Se presentan los resultados disponibles en cada caso (mínimos, máximos y/o promedios).

S: Superficie, F: Fondo, -: no disponible.

Si se considera que la abundancia y la diversidad de los ciliados se relacionan con las concentraciones de clorofila y con la productividad de los lagos, se esperaría que el lago Catemaco albergara elevada abundancia de ciliados (Beaver y Crisman, 1982). Sin embargo, los resultados indican que la abundancia es intermedia entre las de otros cuerpos de agua comparables (Cuadro 5). Las elevadas concentraciones y el rango de variación de clorofila *a* de un orden de magnitud en Catemaco son frecuentes en lagos donde dominan cianobacterias filamentosas (Chapman y Schelske, 1997; Hwang y Heath, 1997; van Wichelen *et al.*, 2013). La asociación entre la abundancia de ciliados y la clorofila *a*, indicada por el ACP de marzo, significa que la abundancia de ciliados se correlaciona positivamente con la de clorofila, y que la importancia relativa de los ciliados dentro de las redes microbianas aumenta en un gradiente de clorofila desde lagos eutróficos a hipertróficos (Conty y Bécares 2013, Ong'Ondo *et al.* 2013).

La elevada turbidez de las aguas, las reducidas proporciones atómicas N:P, la elevada concentración de clorofila *a*, la dominancia de cianobacterias en el fitoplancton y la abundancia intermedia de ciliados permiten considerar al lago, en temporada de secas, como un cuerpo de agua mixto, con características de ambientes meso y eutróficos (Esquivel-Herrera *et al.*, 2009). Si únicamente se considerara la abundancia de ciliados, Catemaco podría ubicarse entre los lagos mesotróficos, según la caracterización de Beaver y Crisman (1982), y entre los lagos intermedios, de acuerdo con van Wichelen *et al.* (2013).

La distribución espacialmente homogénea de los ciliados, entre los distintos sitios de muestreo y entre las diferentes profundidades durante la estación seca, refleja el proceso de mezcla continua de las aguas que caracteriza al lago Catemaco (Torres- Orozco *et al.*, 1996; Komárková y Tavera, 2003). La variación del pH, en cambio, puede estar relacionada con procesos locales (como la actividad bacteriana) que ocurren a escalas menores, y los ciliados se encuentran en ambientes dulceacuícolas con amplias variaciones de pH (Foissner *et al.*, 1999).

Por otra parte, los ciliados encontrados en el plancton son de distintos niveles tróficos, lo que indica disponibilidad de recursos alimenticios, así como versatilidad de los organismos para aprovecharlos. *Rimostrombidium* y *Pelagostrombidium* son consumidores de bacterias, cianobacterias, diatomeas y flagelados autótrofos, mientras que *Pelagohalteria* puede tener simbiontes autótrofos e ingerirlos, y *Mesodinium* también. *Actinobolina*, *Belonophrya* y *Litonotus* se alimentan de otros ciliados y protistas (Foissner y Berger, 1996; Lynn, 2008).

Es importante mencionar que los ciliados son fuente de alimento para cladóceros, copépodos y rotíferos, además de peces poecílidos en sus etapas tempranas (Lair *et al.*, 1994; Jack y Gilbert, 1997). Esto reviste particular importancia en el lago Catemaco, donde dos de las principales especies objeto de pesquería son planctófagas en etapas de adulto: el topote *Dorosoma petenense* y la pepesca *Bramocharax caballeroi*, además de ser endémicas, al igual que los poecílidos (Torres-Orozco y Pérez-Rojas, 1995).

En conclusión, el estudio realizado indica que la composición de ciliados del plancton del lago Catemaco en temporada de secas es similar a la de otros lagos. Asimismo, la abundancia resulta intermedia respecto a la encontrada en ambientes comparables y su distribución espacial es, en general, relativamente homogénea. Además, los ciliados de Catemaco tienen un espectro trófico amplio, indicativo de la disponibilidad de alimento adecuado. Si se toma en cuenta la abundancia de ciliados, el lago se puede caracterizar como mesotrófico. En cambio, la turbidez del agua, la concentración de nutrimentos de fósforo, la proporción N:P y la concentración de clorofila permiten clasificarlo como eutrófico. Esa diferencia indicaría que los procesos de la red trófica microbiana en los que participan los ciliados juegan un papel importante en la modificación de los factores mencionados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aleya, L. *et al.*, 2009, "Abundance and biomass of prokaryotic and eukaryotic microorganisms coupled with environmental factors in an arid multi-pond solar saltern (Sfax, Tunisia)", en *J. Mar. Biol. Assoc.*, Reino Unido, 89: 243-253.
- APHA (American Public Health Association), 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed., American Public Health Association, Washington D. C.
- Azam, F. *et al.*, 1983, "The ecological role of water-column microbes in the sea", en *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10: 257-263.
- Bagatini, I. *et al.*, 2013, "Protozooplankton and its relationship with environmental conditions in 13 water bodies of the Mogi-Guaçu basin-SP", en *Brazil. Biota Neotrop.*, 13(4): 152-163.
- Barbieri, M. y M. Godinho, 1989, "Ecological studies on the planktonic protozoa of a eutrophic reservoir (Rio Grande Reservoir-Brazil)", en *Hydrobiologia*, 183(1): 1-10.
- Bautista, F. y M. Macek, 2012, "Ciliate food vacuole content and bacterial community composition in the warm monomictic crater Lake Alchichica, México", en *FEMS Microbiol. Ecol.*, 79: 85-97.
- Beaver, J. y T. Crisman, 1982, "The trophic response of ciliated protozoans in freshwater lakes, *Limnol*", en *Oceanogr.*, 27(2): 246-253.
- Beaver, R. *et al.*, 1988, "Distribution of planktonic ciliates in highly colored sub-tropical lakes: comparison with clearwater ciliate communities and the contributions of myxotrophic taxa to total autotrophic biomass", en *Freshwater Biol.*, 20(1): 51-60.
- Beaver, R. y T. Crisman, 1990, "Seasonality of planktonic ciliated protozoa in 20 subtropical Florida lakes of varying trophic state", en *Hydrobiologia*, 190: 127-135.
- Burian, A. *et al.*, 2013, "Microzooplankton feeding behaviour: grazing on the microbial and the classical food web of African soda lakes", en *Hydrobiologia*, 710: 61-72.

- Chapman, D. y L. Schelske, 1997, "Recent appearance of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in five hypereutrophic Florida lakes", en *J. Phycol.*, 33(2): 191-195.
- Conty, A. y E. Bécares, 2013, "Unimodal patterns of microbial communities with eutrophication in mediterranean shallow lakes", en *Hydrobiologia*, 700: 257-265.
- Edmonson, W., 2005, "Lake Washington", en O'Sullivan, E. y S. Reynolds (comps.), *The Lakes Handbook*, vol. 2, *Lake Restoration and Rehabilitation*, Blackwell Science, Oxford.
- Esquivel, A. et al., 2009, "Diagnóstico del estado trófico y de la calidad bacteriológica del agua, sedimento y caracol (*Pomacea patula catemacensis*) del Lago de Catemaco, Veracruz", en Ayala, L. et al. (comps.), *Contribuciones Metodológicas al Conocimiento de los Recursos Naturales*, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-UNAM-Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Sociedad Mexicana de Historia Natural, México.
- Foissner, W. y H. Berger, 1996, "A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology", en *Freshwater Biol.*, 35: 375-482.
- Foissner, W. et al., 1999, *Identification and ecology of limnetic plankton ciliates*, Informationsberichte Heft 3/99, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Heft 3/99, Alemania.
- Gomes, A. y J. Godinho, 2003, "Structure of the protozooplankton community in a tropical shallow and eutrophic lake in Brazil", en *Acta Oecol.*, 24: 153-161.
- Hasle, R., 1978, "The inverted-microscope method", en Sournia, A. (comp.), *Phytoplankton manual*, UNESCO, París.
- Havens, E. et al., 2003, "N: P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution", en *Environ. Pollut.*, 122(3): 379-390.

- Hecky, E. y J. Kling, 1981, "The phytoplankton and protozooplankton of Lake Tanganyika: species composition, biomass, chlorophyll content and spatio-temporal distribution", en *Limnol. Oceanogr.*, 26: 548-564.
- Hwang, J. y T. Heath, 1997, "The distribution of protozoa across a trophic gradient, factors controlling their abundance and importance in the plankton food web", en *J. Plankton Res.*, 19(4): 491-518.
- Jack, D. y J. Gilbert, 1997, "Effects of metazoan predators on ciliates in freshwater plankton communities", en *J. Eukaryot. Microbiol.*, 44: 194-199.
- Jeffrey, W. y F. Humphrey, 1975, "New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton", en *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 167: 191-194.
- Jerome, A. *et al.*, 1993, "The effect of the quantitative protargol stain and lugol's and bouin's fixatives on cell size: A more accurate estimate of ciliate species biomass", en *J. Eukaryot. Microbiol.*, 40: 254-259.
- Jurgens, K. y E. Jeppesen, 2000, "The impact of metazooplankton on the structure of the microbial food web in a shallow, hypertrophic lake", en *J. Plankton Res.*, 22: 1047-1070.
- Komárková, J. y R. Tavera, 2003, "Steady state of phytoplankton assemblage in the tropical lake Catemaco (México)", en *Hydrobiologia*, 502: 187-196.
- Lair, N. *et al.*, 1994, "The feeding of a larval fish, *Lebistes reticulatus*, on ciliates and rotifers", en *Mar. Microb. Food Webs*, 8: 337-345.
- Lara J. *et al.*, 2008, "Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales", en *Capital Natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*, Conabio, México.
- Leps, J. y P. Smilauer, 2003, *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*, Cambridge University Press, Nueva York.
- Lewis, M. Jr., 1985, "Protozoan abundance in the plankton of two tropical lakes", en *Arch. Hydrobiol.*, 104(3): 337-343.

- Lynn, H., 2008, *The ciliated protozoa: characterization, classification, and guide to the literature*, 3a. ed., Springer, Nueva York.
- Macek, M. *et al.*, 2006, "Seasonal dynamics, composition and feeding patterns of ciliate assemblages in oligotrophic lakes covering a wide pH range", en *Arch. Hydrobiol.*, 166(2): 261-287.
- Macek, M. *et al.*, 2008, "Seasonal and spatial dynamics of a ciliate assemblage in a warm-monomictic lake Alchichica (Puebla, México)", en *Hidrobiológica*, 18(1 suplemento): 25-35.
- Mathes, J. y H. Arndt, 1994, "Biomass and composition of protozooplankton in relation to lake trophy in north German Lakes", en *Mar. Microb. Food Webs*, 8(1-2): 357-375.
- Montagnes, J. *et al.*, 2008, "Selective feeding behaviour of key free-living protists: avenues for continued study", en *Aquat. Microb. Ecol.*, 53: 83-98.
- Montagnes, J. *et al.*, 2010, "The protozooplankton-ichthyoplankton trophic link: an overlooked aspect of aquatic food webs", en *J. Eukaryot. Microbiol.*, 57: 223-228.
- Moustaka, M. *et al.*, 2006, "Plankton food web structure in a eutrophic polymictic lake with a history of toxic cyanobacterial blooms", en *Limnol. Oceanogr.*, 51(1): 715-727.
- Ong'ondo, O. *et al.*, 2013, "Ecology and community structure of ciliated protists in two alkaline-saline Rift Valley lakes in Kenya with special emphasis on *Frontonia*", en *J. Plankton Res.*, 35: 759-771.
- Pace, L. y D. Orcutt, 1981, "The relative importance of protozoans, rotifers and crustaceans in a freshwater zooplankton community", en *Limnol. Oceanogr.*, 26: 822-830.
- Pérez, A., 1984, *Investigaciones geológicas preliminares en el lago de Catemaco, Veracruz*, Tesis profesional, Facultad de Ingeniería-UNAM, México.
- Pérez, A. y R. Torres, 1992, "Geomorfología y batimetría del lago de Catemaco, Veracruz, México", en *An. Inst. Cs. Mar Limnol.*, UNAM, 19(1): 19-24.



- Peštova, D. *et al.*; 2008, "Ciliates and their phytoplankton-feeding activity in a high-altitude warm monomictic saline lake", en *Eur. J. Protistology*, 44: 13-25.
- Pfister, G. *et al.*, 2002, "Pelagic ciliates (Protozoa, Ciliophora) of different brackish and freshwater lakes - a community analysis at the species level", en *Limnologia*, 32(2): 147-168.
- Phlips, E. *et al.*, 1997, "Relationships between phytoplankton dynamics and the availability of light and nutrients in a shallow subtropical lake", en *J. Plankton Res.*, 19: 319-342.
- Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2007, NOM-041-2004. Primera sección, en Sagarpa. gov.mx/archivosnormateca/SAGI5MARO7-3.pdf., consultado el 20/05/2013.
- Sánchez, M. *et al.*, 2011, "Planktonic ciliates in a hypertrophic pond: functional role and importance", en *J. Environ. Biol.*, 32: 497-503.
- Schindler, W. *et al.*, 2008, "Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment", en *Proc. Natl. Acad. Sci USA*, 105: 11254-11258.
- Shukla, U. y K. Gupta, 2001, "Assemblage of ciliated protozoan community in a polluted and non-polluted environment in a tropical lake of central Himalaya: Lake Naini Tal, India", en *J. Plankton Res.*, 23: 571-584.
- Sokal, R. y J. Rohlf, 1979, *Biometría*, 1ª ed. española, H. Blume Ediciones, Madrid.
- Song, B., 2000, "A comparative study on planktonic ciliates in two shallow mesotrophic lakes (China): species composition, distribution and quantitative importance", en *Hydrobiologia*, 427: 143-153.
- Strüder, M. *et al.*, 2002, *The user-friendly guide to coastal planktonic ciliates*, en <http://www.liv.ac.uk/ciliate/site/index.htm>., consultado el 05/06/2012.
- Taylor, D. y M. Heynen, 1987, "Seasonal and vertical distribution of Ciliophora in Lake Ontario", en *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44: 2185-2191.

- Torres, R. y A. Pérez, 1995, "El lago de Catemaco", en De la Lanza, G. y L. García (comps.), *Lagos y presas de México*, Centro de Ecología y Desarrollo, México.
- Torres, R. *et al.*, 1996, "Some limnological features of three lakes from Mexican neotropics", en *Hydrobiologia*, 341: 91-99.
- Torres, R. *et al.*, 1997, "Limnología", en Dirzo, R. *et al.* (comps.), *Historia Natural de Los Tuxtlas*, UNAM.
- Van Wichelen, J. *et al.*, 2013, "Planktonic ciliate community structure in shallow lakes of lowland Western Europe", en *Eur. J. Protistol.*, 49: 538-551.
- Velho, F. *et al.*, 2005, "Abundance, biomass and size structure of planktonic ciliates in reservoirs with distinct trophic states", en *Acta Limnol. Bras.*, 17(4): 361-371.
- Wetzel, G., 2001, *Limnology. Lake and River Ecosystems*, 3a ed., Academic Press, Nueva York.
- Wiackowski, K. *et al.*, 2001, "What factors control planktonic ciliates during summer in a highly eutrophic lake?", en *Hydrobiologia*, 443: 43-57.
- Yasindi, W. y D. Taylor, 2003, "Abundance, biomass and estimated production of planktonic ciliates in lakes Victoria and Malawi", en *Aquat. Ecosyst. Health*, 6: 289-297.
- Zingel, P. *et al.*, 2007, "Ciliates are the dominant grazers on pico- and nanoplankton in a shallow, naturally highly eutrophic lake", en *Microb. Ecol.*, 53: 134-142.
- Zingel, P. y T. Noges, 2008, "Protozoan grazing in shallow macrophyte and plankton lakes", en *Fund. Appl. Limnol.*, 171: 15-25.
- Zou, Q. *et al.*, 2013, "Seasonal pattern of planktonic ciliates in a subtropical shallow urban Lake", en *Biol. Sciences*, 5(5): 210-219.