

Riqueza de protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México: aproximación temporal y espacial

Richness of protists in El Cajón dam, Querétaro, Mexico: temporal and spatial approximation

Mariel Velázquez-Medina¹*, Rosaura Mayén-Estrada² y Rubén Pineda-López^{1*}

Recibido: 27 de enero de 2020.

Aceptado: 25 de julio de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: Pese a que los protistas son componentes importantes en los ecosistemas y microhábitats acuáticos, en México su conocimiento es escaso, por lo que es relevante contribuir con estudios de su diversidad en el país. **Objetivo:** En este trabajo se documenta la diversidad de protistas y su variación espacial y temporal en una presa urbana en Querétaro, México. **Métodos:** Se realizaron muestreos superficiales cada semana durante un periodo anual de julio 2015 a julio 2016 en dos puntos de la presa, uno hacia su parte media y otro en su parte posterior. Se comparó la riqueza y la composición de los taxones, tanto espacial como temporalmente, así como la relación de las comunidades con la precipitación y la temperatura atmosférica, con ayuda de análisis de comparación de la riqueza de especies a una misma cobertura de muestra y de técnicas multivariadas. **Resultados:** Se determinó un total de 17 taxones pertenecientes a los phyla Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora y Heliozoa. Se aportan 11 registros nuevos para el estado de Querétaro en un área representativa de las zonas semiáridas del centro del país. Las especies más frecuentes en los muestreos fueron *Coleps hirtus*, *Paramecium caudatum* y *Stentor coeruleus*. La composición de los taxones entre los puntos de muestreo fue diferente. Ambos puntos presentaron en el año dos picos de riqueza y dos comunidades diferentes, que correspondieron a las temporadas de lluvias en verano y de sequía en invierno. **Conclusiones:** La estacionalidad juega un papel importante para el desarrollo y establecimiento de las comunidades de protistas en la presa El Cajón.

Palabras clave: Cambio estacional, Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora, Heliozoa.

ABSTRACT

Background: Although protists are important components of aquatic ecosystems and microhabitats, their knowledge in Mexico is scarce, making it relevant to contribute with studies of their diversity in the country. **Objective:** In this study, protist diversity and its spatial and temporal variation are documented in an urban dam in Querétaro, México. **Methods:** Superficial samplings were performed each week from August 2015 to July 2016 in two points of the dam: one towards its middle part and another in its posterior part. Richness and composition of taxa, both spatially and temporally, as well as the relationship of the communities with precipitation and atmospheric temperature, were compared using species richness comparison analyses at the same sample coverage and multivariate techniques. **Results:** 17 taxa were determined, belonging to phyla Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora and Heliozoa. 11 new records are provided for Querétaro, which is part of the semi-arid areas in the center of the country. The most frequent species in the sampling were *Coleps hirtus*, *Paramecium caudatum*, and *Stentor coeruleus*. The taxon composition between the sampling points was different and showed two richness peaks and two different communities in the year, which corresponded to wet and dry seasons. **Conclusions:** Seasonality plays an important role in the establishment and development of protist communities in the El Cajón dam.

Keywords: Seasonal change, Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora, Heliozoa.

¹ Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Av. de las Ciencias s/n Juriquilla, Querétaro, 76230. México

² Laboratorio de Protozoología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Ext. s/n., Ciudad Universitaria, Av. Universidad 3000, Del. Coyoacán, Ciudad de México, 04510. México

***Corresponding author:**

Rubén Pineda-López: e-mail: rpineda62@hotmail.com

To quote as:

Velázquez-Medina, M., R. Mayén-Estrada & R. Pineda-López. 2020. Riqueza de protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México: aproximación temporal y espacial. *Hidrobiológica* 30 (2): 117-127.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbh/hidro/2020v30n2/Velazquez

INTRODUCCIÓN

En los protistas se incluyen taxones como amebozoos, euglenozoos, ciliados y heliozoos, los cuales habitan en ambientes acuáticos, dulcea-cuicolas, marinos, hipersalinos o salobres, e interfaces como agua-suelo o agua-aire (Coleman *et al.*, 1977; Foissner, 1987; Humphrey *et al.*, 2008; Lynn 2012) y también son simbioses de animales y plantas. La mayoría son heterótrofos, fagótrofos u osmótrofos, con movimiento por medio de pseudópodos, flagelos o cilios, carecen de pared celular y algunos euglenozoos presentan cloroplastos (Aladro-Lubel, 2009; Mayén-Estrada *et al.*, 2014a, 2014b). Ecológicamente son un componente importante de las redes tróficas y del reciclamiento de nutrientes en los ecosistemas (Anderson, 1987; Fenchel, 1987; Laybourn-Parry, 1992; Arndt & Berninger, 1995), además de jugar un papel importante como principales consumidores de bacterias (Patterson, 2003).

Se estima que pueden existir aproximadamente 90,000 especies de protistas de vida libre en hábitats terrestres y acuáticos (Corliss, 2002; Brusca & Brusca, 2003; Foissner, 2007; Aladro-Lubel, 2009). Para los cuerpos de agua continentales de México existen pocos estudios sobre su diversidad, los cuales se han desarrollado principalmente en nueve cuerpos de agua, entre los cuales están Chapultepec y Xochimilco en la Ciudad de México, la laguna La Mancha en Veracruz y las lagunas de Zempoala en Morelos (López-Ochoterena, 2001; Mayén-Estrada *et al.*, 2014a, 2014b). Esta escasez de estudios está ligada al también reducido número de investigadores en este campo en el país. En México se tienen registradas alrededor de 146 especies de protistas flagelados heterótrofos (Mayén-Estrada *et al.*, 2014a), 995 especies de ciliados de vida libre (Mayén-Estrada *et al.*, 2014b) y 315 especies de amebas de vida libre (Gallegos-Neyra *et al.*, 2014). Para el Estado de Querétaro solo se han registrado 13 taxones de protistas (Sigala-Regalado *et al.*, 2011). Ante esta carencia de estudios, es importante aumentar los trabajos sobre estos importantes organismos en nuestro país, a fin de actualizar y contribuir al avance del estudio de protistas en México. Con este fin, en este trabajo se analizó la riqueza y la composición espacial y temporal de taxones de protistas que habitan en la capa superficial de la presa “El Cajón”, Querétaro, México, durante un ciclo anual.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presa El Cajón se encuentra localizada hacia el extremo oeste del estado de Querétaro, dentro de la región de El Bajío (Bayona, 2016) y en la zona metropolitana de la ciudad de Santiago de Querétaro. Se construyó en el año 1880 al norte de dicha ciudad, en las coordenadas 20°41'55.04" N y 100°27'29.69" O (INEGI, 1986; Fig. 1). Tiene un área máxima de 26.6 ha (Pineda-López, 2009). El clima de la zona es semiseco con lluvias principalmente en verano. La temperatura media anual es de 18.1°C, el mes más caluroso es mayo con una temperatura máxima media anual de 33°C y el más frío es diciembre con una temperatura mínima media anual de -0.3°C. La precipitación media anual es de 467.9 mm, ocurre principalmente en verano (Tutiempo.net, 2020; Fig. 2).

Para el trabajo de campo se lograron colocar sólo dos puntos de muestreo ya que es un fraccionamiento privado con acceso restringido. El primer sitio de muestreo (PM) se ubicó hacia la zona media de la presa (20°41'44.58" N, 100°27'20.55" O), mientras que el segundo sitio (PP) se colocó en la parte posterior de la presa (20°42'8.35" N,

100°27'36.81" O), en un canal de entrada con vegetación acuática dispersa, un denso arbolado en sus orillas y profundidad entre 1 y 1.5 m (Fig. 1).

Se realizaron 48 muestreos en cada uno de los dos sitios de la presa con una periodicidad semanal, de agosto 2015 a julio 2016. En cada sitio se tomó una muestra de agua de la capa superficial con un frasco limpio de plástico de 1 L a una profundidad máxima de 15 cm y hasta tener lleno una tercera parte del frasco (Aladro-Lubel, 2009). Todos los muestreos se llevaron a cabo entre las 10:00 y las 16:00 h. Las muestras se transportaron al laboratorio dentro de las 24 h después de su colecta, donde fueron mantenidas a exposición solar indirecta y temperatura ambiente. Se realizaron observaciones, anotaciones y mediciones in vivo de todos los organismos presentes en las muestras de agua (Lee *et al.*, 1985), con ayuda de microscopía óptica de contraste de fases y campo claro. Posteriormente, para la identificación de los taxones se preparó una mezcla de infusiones para cultivar y generar una cantidad suficiente de organismos y elaborar preparaciones permanentes con las técnicas de hematoxilina de Harris, carbonato de plata amoniacal (Fernández-Galiano, 1976), nitrato de plata en seco (Klein, 1926, 1958) y NMF de Borrór (Aladro-Lubel, 2009; Borrór, 1968). El registro microfotográfico se realizó con una cámara LEICA DM500 tanto en las observaciones in vivo, como para las técnicas implementadas. Para el arreglo taxonómico del phylum Ciliophora se siguió la propuesta de clasificación de Lynn (2008) y para los phyla Amoebozoa, Euglenozoa y Heliozoa se siguieron las clasificaciones de Lee *et al.* (2000). De todos los taxones observados in vivo y en tinciones, solo se consideraron para este trabajo aquellos con los que se contó con suficientes características morfológicas en el registro microfotográfico para lograr su identificación.

Se generó una base de datos de incidencia de los taxones por fecha y sitio de colecta. Para el análisis de la riqueza se graficó el número total de taxones por mes para ambos puntos de muestreo. La comparación de la riqueza de taxones se realizó con el programa iNEXT, que utiliza tanto interpolaciones (rarefacción) como extrapolaciones de los datos para realizar dicha comparación a una misma cobertura de muestra (Chao *et al.*, 2016). En éste y posteriores análisis, se utilizó la frecuencia (número de riqueza por taxón presente en cada muestreo) como sustituto de la abundancia.

Para analizar la composición de especies espacialmente, se aplicó la técnica de Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (NMDS por sus siglas en inglés, Clarke, 1998), con la cual se generó un gráfico donde se ubicaron los muestreos mensuales de cada sitio con base en su composición de taxones. En este análisis se utilizó el índice de Jaccard, que utiliza la incidencia de las especies. Para verificar la significancia de la diferencia de los muestreos por sitio, se realizó una prueba no paramétrica de similitudes ANOSIM, que utiliza permutaciones y prueba la hipótesis nula de que no existen diferencias en la composición de los ensambles (Clarke & Green, 1988; Magurran, 2004). Se utilizó un análisis de correspondencia canónica (Ter-Braak, 1986, 1987) para ordenar la composición de taxones por mes y evaluar su relación con los promedios mensuales reportados para la temperatura y la precipitación como variables climáticas (Tutiempo.net, 2015, 2016). La significancia de la diferencia de la composición de taxones en los grupos de meses observados, se estimó con la prueba ANOSIM. Estos análisis se llevaron a cabo en el programa PAST 4 (Hammer *et al.*, 2001).

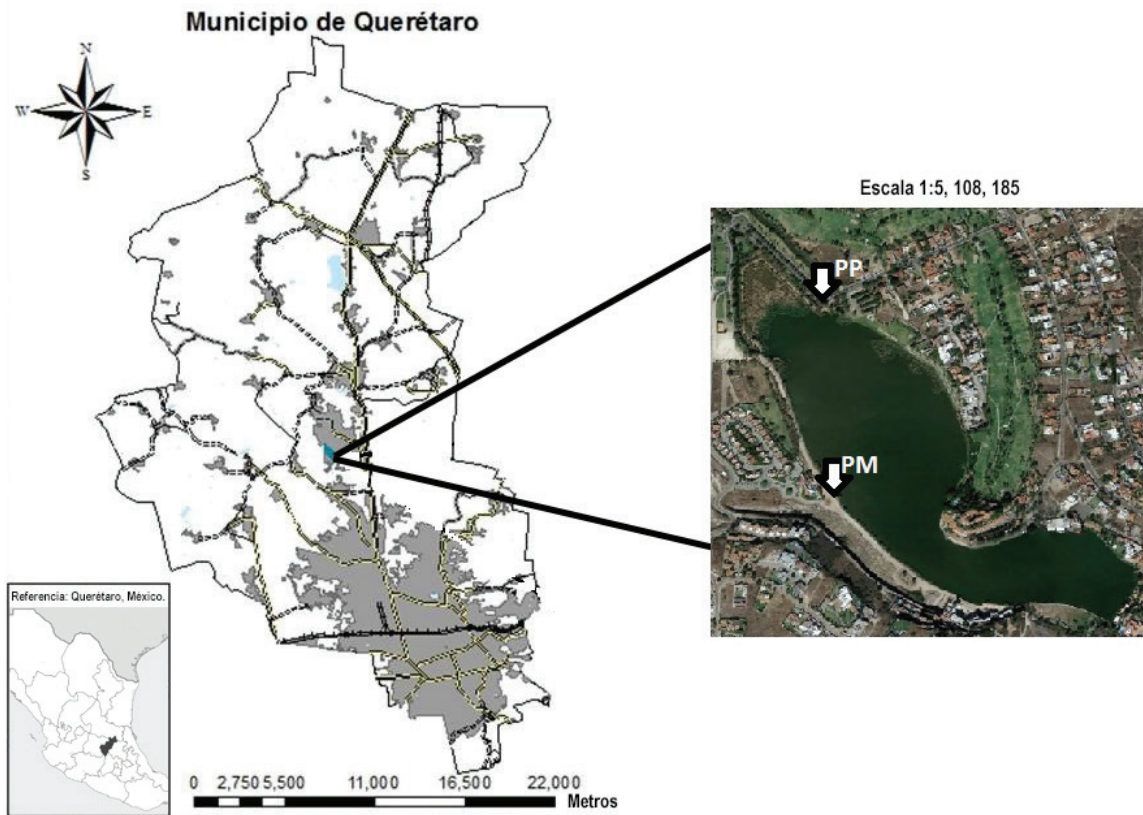


Figura 1. Ubicación de la presa El Cajón y del municipio de Querétaro en el estado de Querétaro, México. Se muestran con flechas los puntos de muestreo: punto posterior (PP) y punto medio (PM).

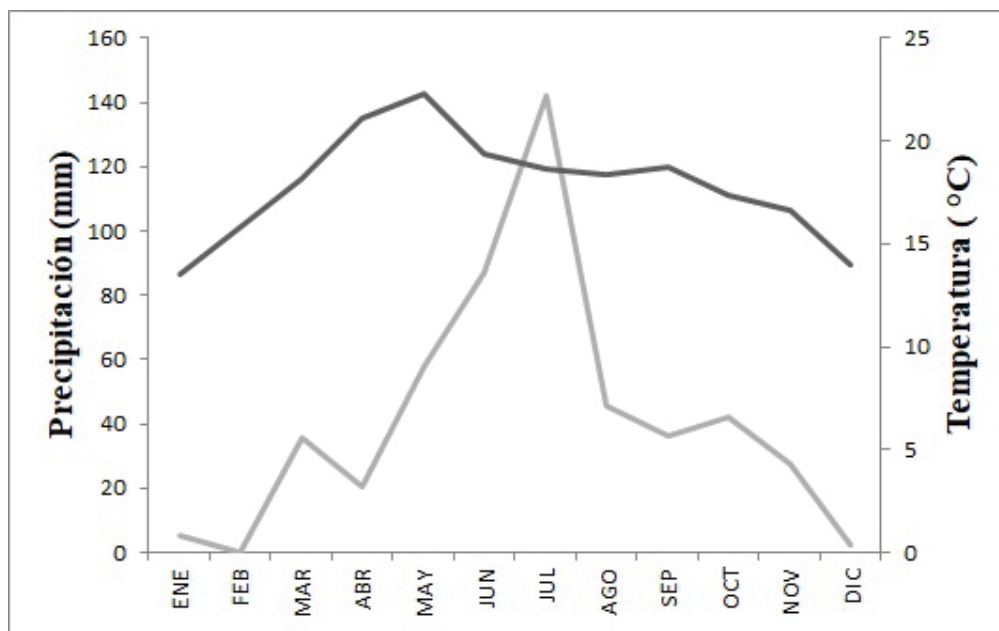


Figura 2. Temperatura (°C) y precipitación (mm) mensuales promedio para el municipio de Querétaro, México, durante los meses muestreados. Datos tomados de la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT (Tutiempo.net, 2015, 2016).

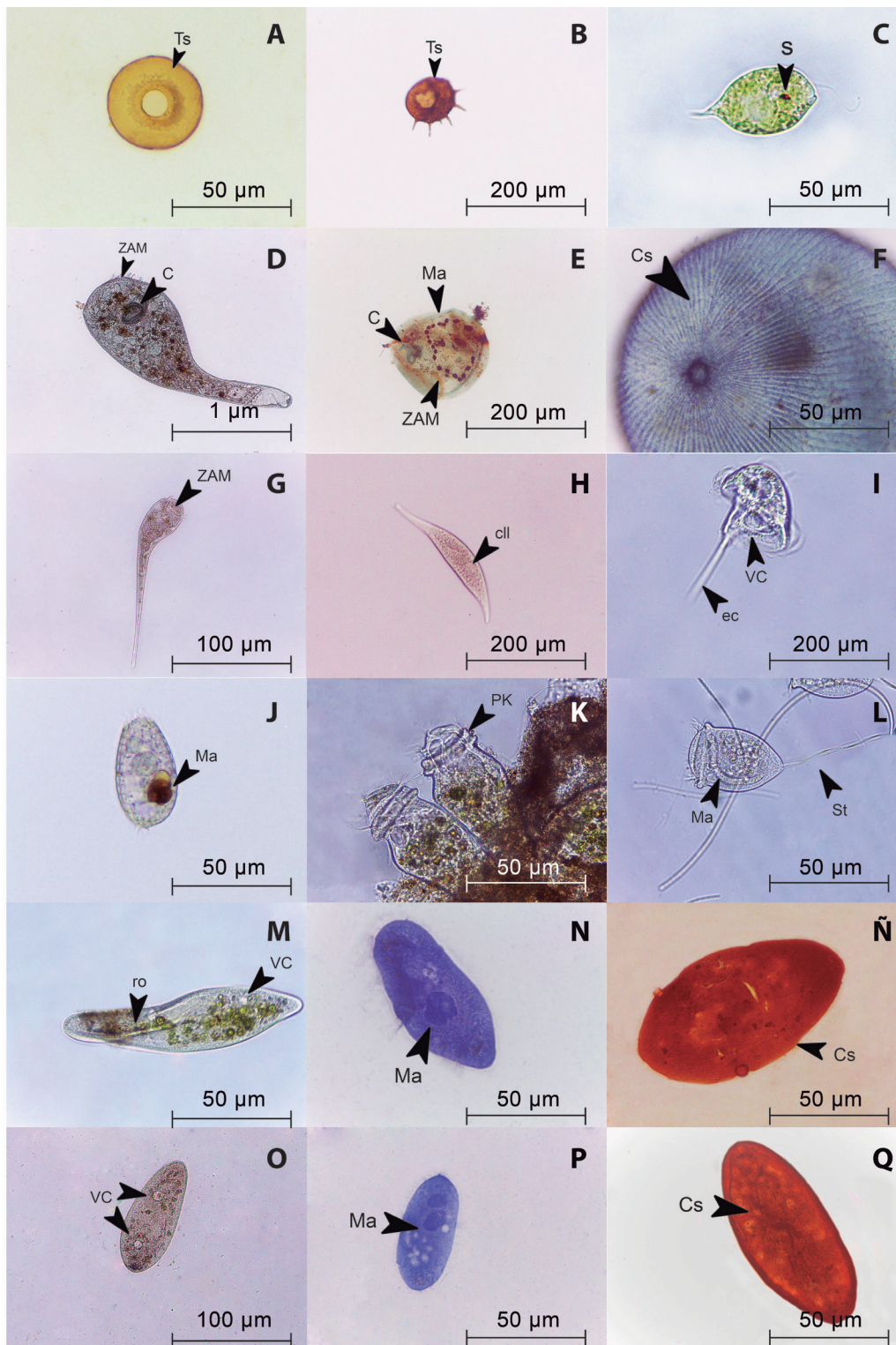


Figura 3. Protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México. A: *Arcella* sp., B: *Centropyxis* sp., C: *Phacus* sp., D-F *Stentor coeruleus* (D: en vivo, E: con tinción de carbonato de plata, F: con tinción de NMF), G: *Stentor* sp., H: *Litonotus lamella*, I: *Caenomorpha* sp., J: *Coleps hirtus*, K: *Epistylis* sp., L: *Vorticella* sp., M-Ñ: *Paramecium caudatum* (M: en vivo, N: con tinción de hematoxilina de Harris, Ñ: con tinción de Klein), O-Q: *Paramecium* sp. (O: en vivo, P: con tinción de hematoxilina de Harris, Q: con tinción de Klein). Para las estructuras señaladas: C: citostoma, Cs: cinetias somáticas, ec: espina caudal, Ma: macronúcleo, PK: labio peristomal, ro: región oral, S: estigma, St: pedúnculo, Ts: testa, VC: vacuola contráctil, ZAM: zona adoral de membranelas.

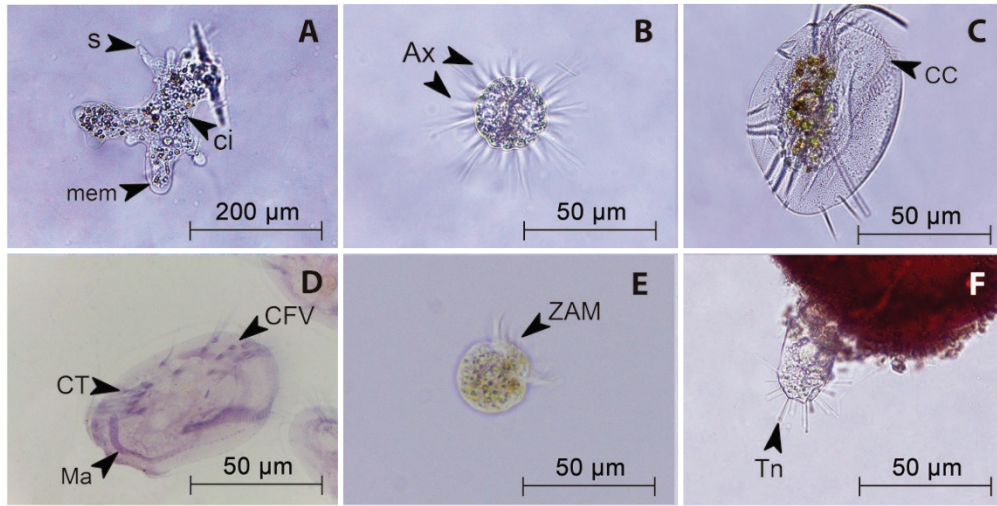


Figura 4. Protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México. A: Amoebidae, B: Actinophryidae, C-D: Euplotidae (C: en vivo, D: con tinción de hematoxilina de Harris), E: Oligotrichia, F: Suctoria. Para las estructuras señaladas: Ax: axópodo, CFV: cirros fronto-ventrales, CT: cirros transversales, Ma: macronúcleo, mem: membrana, S: pseudópodo, Tn: tentáculo, ZAM: zona adoral de membranelas.

RESULTADOS

Se determinó un total de 17 taxones en los dos sitios de muestreo (Fig. 3 y 4), 12 pertenecen al phylum Ciliophora [*Caenomorpha* sp., *Coleps hirtus* (Müller, 1786); *Epistylis* sp., Euplotidae, *Litonotus lamella*, (Müller, 1773); Oligotrichida, *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1833; *Paramecium* sp., *Stentor coeruleus*, (Pallas, 1766); *Stentor* sp., Suctoria y *Vorticella* sp.], tres a Amoebozoa (Amoebidae, *Arcella* sp. y *Centropyxis* sp.), uno a Euglenozoa (*Phacus* sp.) y uno a Heliozoa (Actinophryidae, Tabla 1).

Coleps hirtus fue uno de los taxones que tuvo mayor presencia a través del año, ya que se registró en 36 muestreos y estuvo presente en todos los meses en el PP, junto con *P. caudatum* (30 muestreos) y seguidos de Euplotidae (29 muestreos) y *S. coeruleus* (26 muestreos). Los taxones con menor frecuencia de aparición fueron *Arcella* sp., *Caenomorpha* sp., *Phacus* sp. y Suctoria (6-7 muestreos), *Centropyxis* sp. (5 muestreos) y Oligotrichida (4 muestreos). Algunos taxones solo se observaron en el PP, como Actinophryidae, *Arcella* sp., *Caenomorpha* sp., *Centropyxis* sp., *Epistylis* sp., Oligotrichida y Suctoria (Tabla 1).

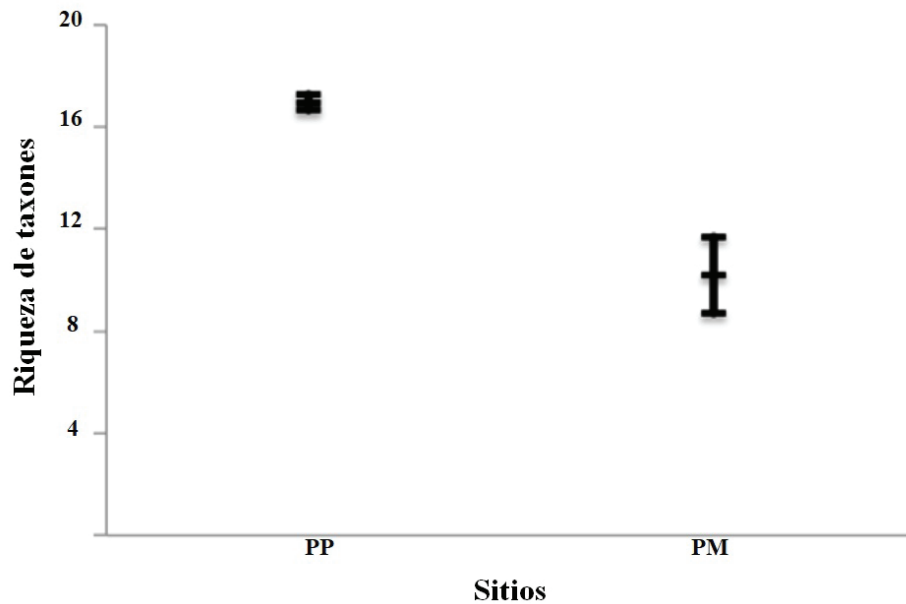


Figura 5. Comparación de la riqueza de especies de los sitios de estudio. Se muestran intervalos de confianza del 95%. PM: primer sitio de muestreo; PP: segundo sitio de muestreo.

Tabla 1. Presencia temporal de los taxones en los sitios de muestreo.

Taxones	Punto Medio												Punto Posterior												TM
	Lluvias						Secas						Lluvias						Secas						
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	
Actinophryidae													2	3	2			2	2	1				12	
Amoebidae	1	2	3	4	2							1	4	2	3	5	3							1	31
<i>Arcella</i> sp.*													3	3										6	
<i>Caenomorpha</i> sp.*																		2	1	3				6	
<i>Centropyxis</i> sp.*													2	3										5	
<i>Coleps hirtus</i>	4	1	3					2	3	3	4	4	4	1	2	5	2	3	2	2	3	3	4	4	59
<i>Epistylis</i> sp.*																	4	2	2	2				10	
Euplotidae *		2	3	2		4	3	2	2				4	3	3	4	2	4	3	2	3	4	4	4	58
<i>Litonotus lamella</i> *			1	1			1	1					2	3	1			3	2	3	3			21	
Oligotrichida*																			2	2				4	
<i>Paramecium caudatum</i>	1	3	3	3		4	3	2	3	4	1		1	3	3	5	3	4	3	2	3	4	1		59
<i>Paramecium</i> sp.*			2										4	3	3	2								14	
<i>Phacus</i> sp.*			2												2	2	1							7	
<i>Stentor coeruleus</i> *	1	2	2			1	3	2	3	4			4	3	3	5		4	3	2	3	4		3	52
<i>Stentor</i> sp.*			2	5	2								3		3	5	2		3	2	3	4	4	42	
Suctoría													2	3	2									7	
<i>Vorticella</i> sp.						1							2	3	3	1	4	1	2	2	2			21	

La numeración corresponde al número de muestras por mes en que se registró el taxón. PM: primer sitio de muestreo; PP: segundo sitio de muestreo; TM: número total de muestreos; *Nuevos registros para el estado de Querétaro.

En cuanto la variación espacial, la riqueza anual acumulada del PP fue mayor que la del PM (Fig. 5), y hubo diferencia en la composición de taxones entre ambos puntos (Fig. 6), la cual fue significativa (ANOSIM: $R = 0.28$, $p = 0.003$).

Respecto a la variación temporal de la riqueza, en ambos puntos de muestreo se presentó una mínima en el mes de marzo-abril y una máxima en julio, para posteriormente descender en septiembre-octubre y aumentar principalmente en PP durante diciembre-enero (Fig. 7).

El análisis de correspondencia canónica por meses de muestreo, mostró una asociación de las comunidades observadas principalmente con la precipitación y, secundariamente, con la temperatura ambiental. También evidenció dos grupos de meses de manera semejante en ambos sitios de muestreo: uno formado por los meses de menor precipitación, de octubre a junio en PM y de octubre a mayo en PP; y otro grupo formado por los meses de lluvias, de julio a septiembre en PM y junio a septiembre en PP. Además, marzo, abril y mayo se encuentran arriba de la gráfica principalmente en PP, asociados a mayores temperaturas (Fig. 8A y 8C).

Los taxones asociados a menor precipitación y temperatura fueron *S. coeruleus*, Oligotrichida, *Caenomorpha* sp., *Epistylis* sp., *L. lamella*, *Vorticella* sp. y *P. caudatum*; los asociados a época de secas con ma-

yores temperaturas fueron *C. hirtus*, *Stentor* sp., *S. coeruleus* y Euplotidae.; y los asociados a la época lluviosa fueron Amoebidae, Actinophryidae, Suctoría, *Arcella* sp., *Centropyxis* sp., *Phacus* sp. y *Paramecium* sp. (Fig. 8B y 8D).

DISCUSIÓN

Los protistas se han considerado cosmopolitas con base en que las mismas especies de ciliados pueden encontrarse en cualquier parte del mundo, siempre y cuando el hábitat sea el mismo (Coleman *et al.*, 1977; Foissner, 1987; Olmo, 1998; Humphrey *et al.*, 2008; Lynn, 2012). Los protistas desempeñan un papel importante en el funcionamiento de ecosistemas (Anderson, 1987; Fenchel, 1987; Laybourn-Parry, 1992; Arndt & Berninger, 1995) y son un componente importante del plancton y del bentos (Wetzel, 1975). Forman parte del flujo de energía y transferencia de materia como un eslabón en los primeros niveles tróficos, con lo que contribuyen en los ecosistemas acuáticos como consumidores primarios de otros protistas y, sobre todo, de cianoprocaríotas (Sleigh, 1979; Bamforth, 1985). En este sentido, es importante desarrollar trabajos enfocados no sólo a su sistemática, sino también a su ecología, máxime por el casi nulo conocimiento de las especies de protistas en cuerpos de agua en el estado de Querétaro.

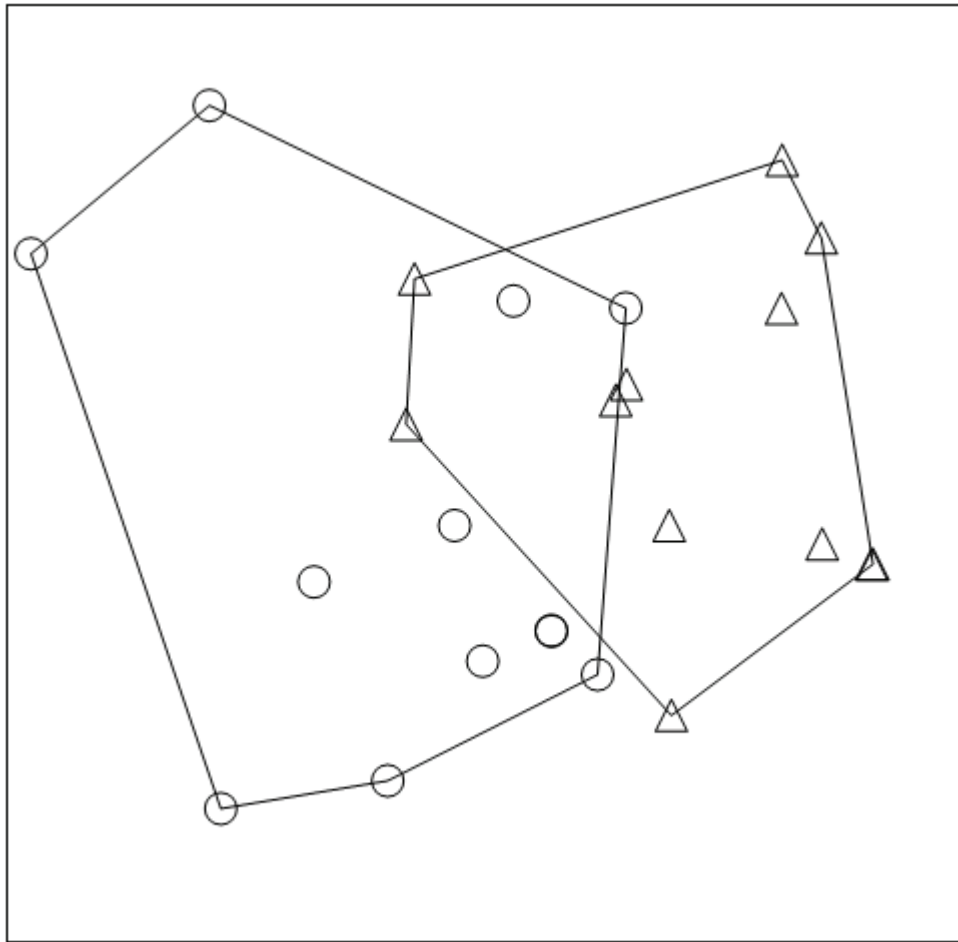


Figura 6. Análisis de la composición de los taxones (NMDS) por mes en los sitios de muestreos. O: meses del sitio de la parte media de la presa (PM), Δ: meses del sitio de la parte posterior (PP).

De tal manera, los resultados de este estudio son importantes tanto a nivel local por la contribución al conocimiento a nivel de estado, donde 11 taxones son nuevos registros, como a nivel regional en zonas semiáridas de México, donde pueden presentarse los taxones y patrones estacionales evidenciados en este trabajo, si bien presas como la del estado de Aguascalientes, México, presenta una composición y riqueza diferente al grupo de protistas, entre ellos a los ciliados (Hernández-Rodríguez *et al.*, 1999).

Espacialmente se observó una diferencia significativa tanto en riqueza como en composición de taxones entre las comunidades de los sitios muestreados, la cual seguramente está asociada a que los sitios se encuentran en zonas que tienen diferentes condiciones en cuanto a incidencia de luz solar, presencia de vegetación acuática y de suministro de agua, ya que el PP está en un canal de entrada a la presa cubierto por follaje de árboles. Estos factores ambientales influyen en la productividad primaria, ciclos de nutrientes y en la producción y variación del zooplancton, incluyendo a los protistas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 1999).

En ambos sitios, las comunidades evidenciaron dos picos de riqueza específica, uno en diciembre-enero, temporada de secas y con temperatura más baja y el segundo en el mes de julio, que corresponde al pico de la temporada de lluvias (Tutiempo.net, 2015, 2016). Los máximos de riqueza, tanto en sequía como en invierno, fueron más marcados en el PP posiblemente por un menor volumen de agua, al encontrarse en un canal de entrada a la presa. Los meses de septiembre-octubre y de marzo-abril fueron los meses con menor riqueza específica, lo que coincide con la transición entre las temporadas de lluvias y secas, y cambios físicos y químicos que provocan cambios en la riqueza y composición de protistas como los ciliados (Andrushchshyn *et al.*, 2003; Madoni & Braghiroli, 2007).

Dichos meses de menor riqueza son la transición entre diferentes comunidades, ya que la composición de especies cambia en ellos, como se observó en los resultados del análisis de correspondencia canónica, que señaló como principal factor asociado a dicho cambio a la precipitación y en segundo lugar a la temperatura atmosférica. La influencia de esta última es consecuencia de que se muestreó el agua

superficial, que responde a los cambios de la misma. Acorde con esto, se ha señalado que la susceptibilidad de los protistas a cambios en factores como la temperatura y la precipitación, conduce a una variación temporal de las comunidades (Velho *et al.*, 2005). Así, fue muy evidente la presencia de dos comunidades de protistas, una en temporada de lluvias y otra en temporada de secas. La variación estacional de las comunidades de protistas ha sido documentada anteriormente (Laybourn-Parry, 1992; Shen & Gu, 1965; Xu & Nauwerck, 1997).

La influencia de la precipitación fue diferente en ambos puntos, ya que en la entrada de la presa (PP) el mes de junio presentó una composición diferente (se encuentra al extremo derecho de la gráfica), mientras que en la parte media de la presa (PM) el cambio de las comunidades se presenta hasta julio. Esta diferencia se explica por la ubicación y extensión del área de influencia que poseen, ya que PP es un canal de entrada y PM se encuentra a la mitad de la presa.

La entrada de agua a la presa conlleva, entre otras cosas, una suspensión de sedimentos y el acarreo de algunos protistas bentónicos a la capa superficial de la presa (Mansano *et al.* 2013), como fue el caso

de los Amoebidae de este estudio, que sólo se observaron en época de lluvias. Además, el flujo de agua explica la presencia de cilíados libre-nadadores en el agua superficial, que se desplazan en la columna de agua (Ghane *et al.*, 2016; Hwang *et al.*, 2016), lo que también explica su presencia continua en los muestreos (Aladro-Lubel *et al.*, 1990; Olmo, 1998; Lynn, 2008).

La presa estudiada puede ser representativa de los múltiples embalses de la zona semiárida y árida de México, que son de tamaño pequeño y, al ser estacionales, son influenciados de manera importante por la precipitación y cambios de temperatura y, en algunos casos, de cubierta vegetal (Ramírez-Bastida *et al.*, 2008; Pineda-López, 2009), si bien en este caso la presa El Cajón no presenta grandes variaciones del nivel de agua al tratarse de una presa con fines recreativos ubicada en un fraccionamiento, se puede observar que la estacionalidad tuvo un papel importante para el desarrollo y establecimiento de los protistas en la capa superficial muestreada. En este sentido, la precipitación y la temperatura atmosférica influyeron para que se generaran dos comunidades y picos de riqueza en el año.

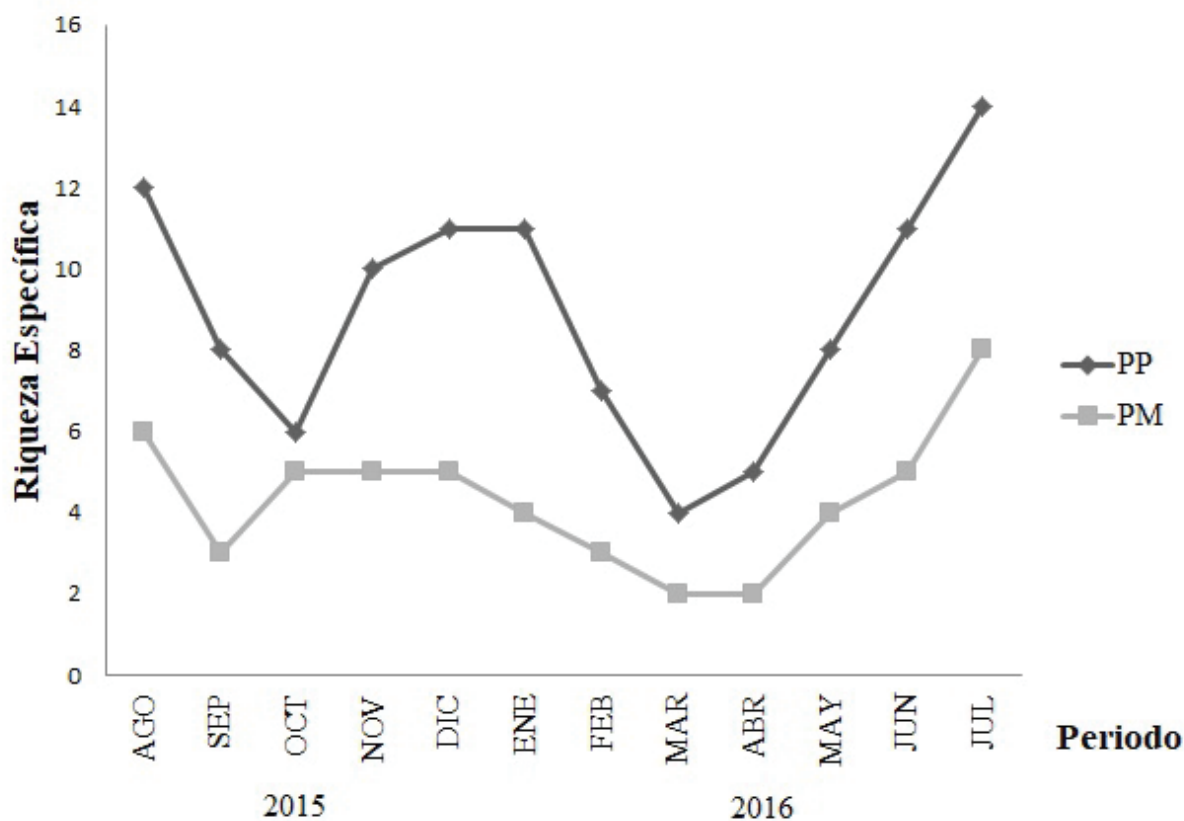


Figura 7. Riqueza mensual de especies de agosto 2015 a julio 2016 en los sitios de muestreo. PM: primer sitio de muestreo; PP: segundo sitio de muestreo. AGO: agosto, SEP: septiembre, OCT: octubre, NOV: noviembre, DIC: diciembre, ENE: enero, FEB: febrero, MAR: marzo, ABR: abril, MAY: mayo, JUN: junio, JUL: julio.

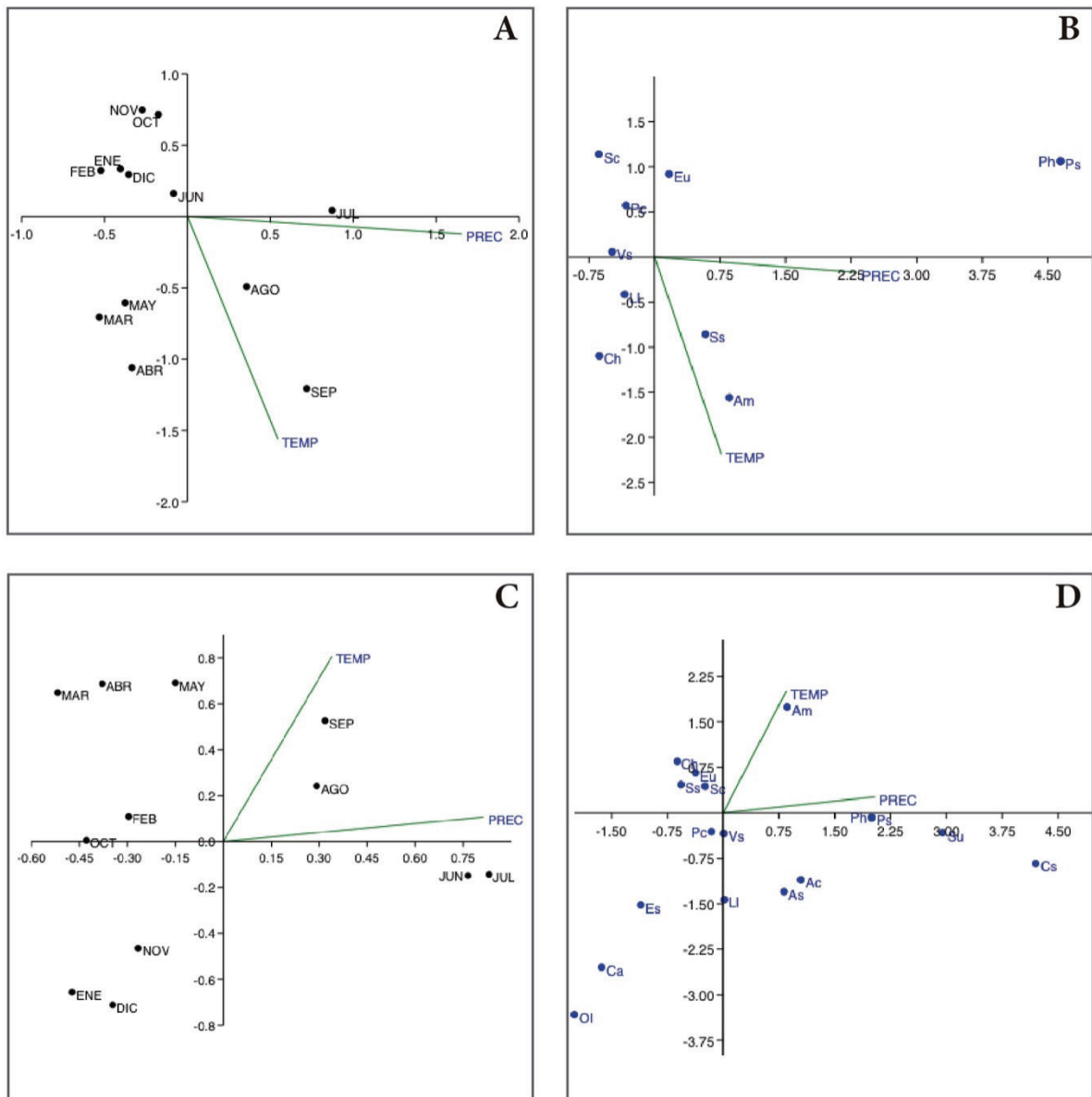


Figura 8. Análisis de correspondencia canónica del sitio de la parte media de la presa (PM) y del sitio de la parte posterior (PP), con los promedios de temperatura atmosférica y precipitación. En A: meses en PM, B: taxones en PM, C: meses en PP y D: taxones de PP. Acrónimo de los taxones: Ac: Actinophryidae, Am: Amoebidae, As: *Arcella* sp., Ca: *Caenomorpha* sp., Ch: *Coleps hirtus*, Cs: *Centropyxis* sp., Eu: Euplotidae, Es: *Epistylis* sp., Ll: *Litonotus lamella*, Ol: Oligotrichida, Pc: *Paramecium caudatum*, Ph: *Phacus* sp., Ps: *Paramecium* sp., Sc: *Stentor coeruleus*, Ss: *Stentor* sp., Su: Suctoria, Vs: *Vorticella* sp.

AGRADECIMIENTOS

A la Biól.M. Reyes-Santos del Laboratorio de Protozoología, Facultad de Ciencias, UNAM, por su apoyo técnico en procedimientos micrográficos. A la Red Temática Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados (CONACYT 271845) por el apoyo financiero para la movilidad académica de estancias y asesorías en el Laboratorio de Protozoología de la UNAM.

REFERENCIAS

- ALADRO-LUBEL, M. A. 2009. *Manual de prácticas de laboratorio de Protozoos*. Prensas de Ciencias-Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 124 p.
- ALADRO-LUBEL, M. A., M. E. MARTÍNEZ-MURILLO & R. MAYÉN-ESTRADA. 1990. *Manual de ciliados psamófilos marinos y salobres de México*. Ins-

- tituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 174 p.
- ANDERSON, O. R. 1987. *Comparative Protozoology: Ecology, physiology, life history*. Springer, Berlin. 482 p.
- ANDRUSHCHSHYN, O., K. MAGNUSSON & D. D. WILLIAMS. 2003. Ciliate populations in temporary freshwater ponds: seasonal dynamics and influential factors. *Freshwater Biology* 48(3): 548-564.
- ARNDT, H. & U. BERNINGER. 1995. Protists in Aquatic Food Webs-Complex Interactions. In: Brugerolle G. & J. P. Mignot (eds.). *Protistological Actualities*. Couly Clermont-Ferrand, pp. 224-232.
- BAMFORTH, S. S. 1985. Ecology of Protozoa. In: Lee J. J., Hutner S. H. & E. C. Bovee (eds.). *An Illustrated Guide to the Protozoa*. Society of Protozoologists, pp. 7-12.
- BAYONA, C. A. 2016. El Estado de Querétaro. In: Jones R. W. & V. Serrano-Cárdenas (eds.). *Historia Natural del Estado de Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro, pp. 15-22.
- BORROR, A. C. 1968. Ecology of interstitial ciliates. *Transactions of the American Microscopical Society* 87: 233-243.
- BRUSCA, R. C. & G. J. BRUSCA. 2003. *Invertebrates*. Sinauer, Massachusetts. 936 p.
- CHAO, A., K. H. MA & T. C. HSIEH. 2016. iNEXT Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Available online at: http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/ (downloaded January 8, 2017).
- CLARKE, K. R. 1998. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18(1): 117-143. DOI:10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x
- CLARKE, K. R. & R. H. GREEN. 1988. Statistical design and analysis for a "biological effects" study. *Marine Ecology Progress Series* 46(1): 213-226.
- COLEMAN, D. C., C. V. COLE, R. V. ANDERSON, M. BLAHA, M. R. CAMPION, M. CLARHOLM, E. T. ELLIOT, W. HUNT, B. SCAEFER & J. SINCLAIR. 1977. Soil organisms as component of ecosystems. *Ecology Bulletin* 23: 299-309.
- CORLISS, J. O. 2002. Biodiversity and biocomplexity of the protists and an overview of their significant roles in maintenance of our biosphere. *Acta Protozoologica* 41: 199-219.
- FENCHEL, T. 1987. *Ecology of Protozoa*. Science Technical, Madison. 197 p.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, D. 1976. Silver impregnation of ciliated protozoa: procedure yielding good results with the pyridinated silver carbonate method. *Transactions of the American Microscopical Society* 95: 557-560.
- FOISSNER, W. 1987. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations, indicators of environmental quality, guide to the literature. *Progress in Protistology* 2: 69-212.
- FOISSNER, W. 2007. Protist diversity and distribution: some basic considerations. *Biodiversity and Conservation* 17: 235-242.
- GALLEGOS-NEYRA, E. M., A. LUGO-VÁZQUEZ, A. CALDERÓN-VEGA, M. R. SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ & R. MAYÉN-ESTRADA. 2014. Biodiversidad de protistas amébidos de vida libre en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): S10-S25. DOI:10.7550/rmb.33691
- GHANE, E., A. Z. RANAIVOSON, G. W. FEYEREISEN, C. J. ROSEN & J. F. MONCRIEF. 2016. Comparison of contaminant transport in agricultural drainage water and urban stormwater runoff. *PLoS ONE* 11: e0167834. DOI:10.1371/journal.pone.0167834
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaentologia Electronica* 4: 1-9.
- HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M. A., G. E. SANTOS-MEDRANO, G. QUINTERO-DÍAZ & R. RICO-MARTÍNEZ. 1999. Correlación en la precipitación pluvial y la densidad y la composición del zooplancton de ocho represas del estado de Aguascalientes, México. *Revista de Biología Tropical* 47(1): S121-S127.
- HUMPHREY, G. S., A. BOBROV & E. LARA. 2008. Diversity and biogeography of testate amoebae. *Biodiversity and Conservation* 17(2): 329-343. DOI:10.1007/s10531-007-9260-9
- HWANG, H. M., M. J. FIALAA, D. PARKB & T. L. WADEC. 2016. Review of pollutants in urban road dust and stormwater runoff: part 1. Heavy metals released from vehicles. *International Journal of Urban Sciences* 20: 1-27. DOI:10.1080/12265934.2016.1193041
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). 1986. Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del estado de Querétaro 1986. INEGI, México. 144 p.
- KLEIN, B. M. 1926. Ergebnisse mit einer Silbermethode ber Ciliaten. *Archives fur Protistenkunden* 56: 243-279.
- KLEIN, B. M. 1958. The "dry" silver method and its proper use. *Journal of Protozoology* 5: 99-103.
- LAYBOURN-PARRY, J. 1992. *Protozoan Plankton Ecology*. Chapman Hall, Reino Unido. 231 p.
- LEE, J. J., S. H. HUTNER & E. C. BOVEE. 1985. *An Illustrated Guide to the Protozoa*. Society of Protozoologists, Kansas. 629 p.
- LEE, J. J., G. F. LEEDALE & P. BRADBURY. 2000. *The Illustrated guide to the Protozoa*. Society of Protozoologists, Kansas. 1432 p.
- LÓPEZ-ochoterena, E. 2001. Diversidad protozoológica de México. Protozoarios lacustres, relación de artículos. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 50: 57-60.
- LYNN, D. H. 2008. *The ciliated protozoa. Characterization, classification, and guide to the literature*. Springer, New York. 573 p.
- LYNN, D. H. 2012. Ciliophora. In: Wiley, J. & Sons (eds.). *Encyclopedia of life Sciences*, pp. 1-12. DOI:10.1002/9780470015902.a0001966.pub3
- MADONI, P. & S. BRAGHIROLI. 2007. Changes in the ciliate assemblage along a fluvial system related to physical, chemical and geomorphological characteristics. *European Journal of Protistology* 43(2): 67-75. DOI: 10.1016/j.ejop.2006.09.004
- MAGURRAN, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Reino Unido. 256 p.

- MANSANO, A. S., K. F. HISATUGO, M. A. LEITE, A. P. LUZIA & M. H. REGALI-SELEGHIM. 2013. Seasonal variation of the protozooplanktonic community in a tropical oligotrophic environment (Ilha Solteira reservoir, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 73(2): 321-330. DOI:10.1590/S1519-69842013000200012
- MAYÉN-ESTRADA, R., M. REYES-SANTOS & M. E. VICENCIO-AGUILAR. 2014a. Biodiversidad de protistas (flagelados heterótrofos) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): S26-S33. DOI:10.7550/rmb.32922
- MAYÉN-ESTRADA, R., M. REYES-SANTOS & R. AGUILAR. 2014b. Biodiversidad de Ciliophora en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): S34-S43. DOI:10.7550/rmb.31993
- OLMO, R. J. L. 1998. Diversidad local y global de los protozoos ciliados de hábitats de agua dulce. Tesis doctoral, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, España. 108 p.
- PATTERSON, D. J. 2003. *Free-living freshwater protozoa. A colour guide*. ASM Press, Washington DC. 223 p.
- PINEDA-LÓPEZ, R. 2009. Diversidad de aves acuáticas en embalses de una zona semiárida del centro de México. Tesis doctoral, Universidad de Alicante, España. 259 p.
- RAMÍREZ-BASTIDA, P., A. G. NAVARRO-SIGÜENZA & A. T. PETERSON. 2008. Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively. *Biodiversity and Conservation* 17(10): 2525-2558. DOI:10.1007/s10531-008-9398-0
- SHEN, Y. F. & M. R. GU. 1965. A preliminary study on the ecology of protozoan in Donghu Lake, Wuchang. *Acta Hydrobiologica Sinica* 5:147-181.
- SIGALA-REGALADO, I., R. MAYÉN-ESTRADA & J. B. MORALES-MALACARA. 2011. Spatial and temporal distribution of protozoa at Cueva de Los Riscos, Querétaro, México. *Journal of Cave and Karst Studies* 73(2): 55-62. DOI:10.4311/jcks2009mb121
- SLEIGH, R. 1979. *Biología de los Protozoos*. Blume, Madrid. 399 p.
- TER-BRAAK, C. J. E. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5): 1167-1179. DOI:10.2307/1938672
- TER-BRAAK, C. J. E. 1987. The analysis of vegetation environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetation* 69: 69-77. DOI:10.1007/BF00038688
- TUTIEMPO.NET (TUTIEMPO NETWORK, S.L.). 2015. Registro de históricos METAR en la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT. Querétaro, Qro. Disponible en línea: <https://www.tutiempo.net/clima/2015/ws-766250.html> (consultado el 10 de octubre 2020)
- TUTIEMPO.NET (TUTIEMPO NETWORK, S.L.). 2016. Registro de históricos METAR en la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT. Querétaro, Qro. Disponible en línea: <https://www.tutiempo.net/clima/2016/ws-766250.html> (consultado el 10 de octubre 2020)
- TUTIEMPO.NET (TUTIEMPO NETWORK, S.L.). 2020. Registro de históricos METAR en la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT. Querétaro, Qro. Disponible en línea: <https://www.tutiempo.net/clima/ws-766250.html> (consultado el 10 de octubre 2020)
- VELHO, L. F. M., D. G. PEREIRA, T. A. PAGIORO, V. D. SANTOS, M. C. Z. PERENHA & F. A. LANSAC-TÔHA. 2005. Abundance, biomass and size structure of planktonic ciliates in reservoirs with distinct trophic states. *Acta Limnologica Brasiliensia* 17(4): 361-371.
- WETZEL, R. G. 1975. *Limnology*. Saunders, Philadelphia. 743 p.
- XU, R. L. & A. NAUWERCK, 1997. Ecology studies of ciliated protozoa in a eutrophic lake: Lake Höllersee, Austria, II. Temporal and spatial distribution of abundance. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 36: S20-S25.