

Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México

Diversity of epilithic diatoms communities related to physico-chemical parameters in the headwaters of the Zinapécuaro River, Mexico

Virginia Segura-García,¹ José Salvador Almanza Álvarez¹ y Javier Ponce-Saavedra²¹ Laboratorio de Biología Acuática, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Mújica s/n, Ciudad Universitaria, Col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán. 58040. México² Laboratorio de Entomología "Bíol. Sócrates Cisneros Paz". Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edif. B4 2o. Piso. Ciudad Universitaria. Morelia, Michoacán. 58040. México
e-mail: virsegura@gmail.comSegura-García V., J. S. Almanza Álvarez y J. Ponce-Saavedra 2016. Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México. *Hidrobiológica* 26 (2): 187-202.

RESUMEN

Antecedentes. La cuenca del río Zinapécuaro presenta un alto grado de contaminación proveniente de diversas actividades económicas que se desarrollan en la zona, situación que ha generado un marcado deterioro ambiental. Desafortunadamente no existen estudios de la calidad del agua en este río y se desconoce el tipo de contaminantes presentes y las fuentes emisoras. **Objetivos.** Estudiar la comunidad de diatomeas epilíticas de la cabecera del río Zinapécuaro, Michoacán, México. **Métodos.** La recolecta se llevó a cabo durante un ciclo anual y se realizaron cuatro muestreos. **Resultados.** Fueron identificadas 70 especies pertenecientes a las clases Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae y Bacillariophyceae, esta última fue representada con 62 taxones. Las especies comunes en todos los sitios fueron *Achnanthes exiguum*, *A. minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Frustulia latita*, *F. neomundana*, *Gomphonema lagenula*, *Navicula rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Planothidium frequentissimum*, *P. lanceolatum* y *Rhopalodia brebisonii*. Las especies presentes en sitios con mayor grado de eutrofización fueron *Navicula germainii*, *N. recens*, *N. rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *N. inconspicua* y *Planothidium lanceolatum*. **Conclusiones.** Mediante estimadores no paramétricos se encontró que la riqueza específica obtenida fue de 80.5 a 89.7% de la riqueza esperada. El análisis de rarefacción indicó que el esfuerzo de muestreo para representar la riqueza del área de estudio y los sitios seleccionados fue suficiente, excepto para el manantial y el río Yerbabuena en la época de lluvias (2013) y el manantial de la Yerbabuena en la época de estiaje (2013), en los que se requeriría un tamaño de muestra más grande. La mayor diversidad, estimada con el índice Shannon-Wiener, se presentó en Las Orquídeas (época de lluvias 2013). El análisis por temporadas mediante ANOSIM no mostró diferencia estadística significativa en similitud ($p > 0.05$) entre ellas; mientras que para sitios/temporadas sí hubo diferencias en los valores de similitud de Bray-Curtis. Las diferencias de distribución a nivel temporal y espacial se asociaron a diferencias en profundidad, nitritos, amonio, pH y dureza total.

Palabras clave: Análisis de diversidad, Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, eutrofización, Fragilariophyceae.

ABSTRACT

Background. The Zinapécuaro River basin has a high level of pollution coming from different economic activities that take place in the area, which have caused noticeable environmental damage. Unfortunately, there are no studies of the water quality of this river and thus we have no information regarding what current pollutants are present or their emitting sources. **Goals.** We studied the epilithic diatom community of the headwaters of the Zinapécuaro River, Michoacán, Mexico. **Methods.** Samples were collected at four stages during a one-year period. **Results.** Seventy species pertaining to the classes Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae, and Bacillariophyceae were identified. The latter had 62 taxa. The species found at all of the sampling sites were *Achnanthes exiguum*, *A. minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Frustulia latita*, *F. neomundana*, *Gomphonema lagenula*, *Navicula rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Planothidium frequentissimum*, *P. lanceolatum*, and *Rhopalodia brebisonii*. Among the species found at the sites, the ones with the highest degree of eutrophication are *Navicula germainii*, *N. recens*, *N. rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *N. inconspicua*, and *Planothidium lanceolatum*. **Conclusions.** Using nonparametric estimators, we found that observed species richness represented 80.5 to 89.7% of the expected richness. Rarefaction analysis indicated that the sampling effort was enough to represent the species richness in the study area and at the selected sites, except at a spring and at the Yerbabuena River during the rainy season (2013), and the Yerbabuena spring during the dry season (2013), where a greater number of samples would be needed. The greatest diversity, estimated with the Shannon-Wiener index, was found at Las Orquídeas during the rainy season of 2013. Seasonal analysis using ANOSIM showed no statistically significant differences ($p > 0.05$), whereas Bray-Curtis similarity values did show statistically significant differences. Spatial and temporal distribution differences were associated with the differences in depth, nitrites, ammonium, pH, and total water hardness.

Key words: Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, diversity analysis, eutrophication, Fragilariophyceae.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Zinapécuaro se caracteriza por diversas actividades económicas entre las que sobresalen la elaboración de pan, la alfarería, las prácticas agrícolas, frutícolas, madereras y, en menor escala, la ganadera (Zubieta-Rojas, 2010). Sin embargo, las actividades poco planeadas que se realizan en cuencas como la del río Zinapécuaro, han tenido como consecuencia un fuerte deterioro de los ecosistemas, la pérdida de servicios ambientales y un incremento en la vulnerabilidad de cuencas (Díaz, 2013; Mestre, 2014). Como ya reiteradamente se ha comentado para otros cuerpos de agua en México, de este río tampoco se tiene información acerca de la calidad del agua a lo largo de su recorrido y, por consiguiente, se desconoce de manera específica el tipo de contaminantes presentes.

Actualmente diferentes grupos taxonómicos son considerados como indicadores de calidad del agua (Gamboa *et al.*, 2008; Hanson *et al.*, 2010), en particular, las diatomeas, que han sido empleadas para valorar las condiciones ecológicas cambiantes de los sistemas lóticos (Tang *et al.*, 2006; Salomoni *et al.*, 2006; Zampella, 2007), puesto que sus poblaciones responden a las etapas de sucesión de la vegetación original, a diferentes usos del suelo, así como a las actividades industriales, agrícolas y urbanas que incrementan el uso de nutrientes y sedimentos en las cuencas, situación que genera alteración en las condiciones ambientales de los ríos con efectos negativos en sus componentes bióticos (Ndiritu *et al.*, 2006). Los muestreos son fáciles de realizar y sus requerimientos ecológicos son mejor comprendidos que los de otros componentes de la biota acuática (Martínez de Fabricius *et al.*, 2003; Díaz & Maidana, 2005; Walker & Pan, 2006; Weillhoefer & Pan, 2006; López & Siqueiros, 2011).

En este trabajo se analizó la riqueza, composición, abundancia y distribución de la comunidad de diatomeas epilíticas en cuatro temporadas de muestreo y su relación con algunas variables ambientales en la cabecera del río Zinapécuaro.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca Alta del río Zinapécuaro tiene una altitud que oscila entre 2,512 y 2,433 m.s.n.m., con coordenadas 19° 50' - 19° 51' N; 100° 43' - 100° 46' O. Su clima es templado con lluvias en verano, con una precipitación promedio anual de 622.5 mm y temperaturas que fluctúan entre 3 y 34 °C (Correa, 2003). La vegetación primaria es bosque de oyamel, bosque de pino y bosque mixto de pino y encino (Correa, 2003), ecosistemas que se están erradicando para dar paso al establecimiento de huertas de aguacate.

Se seleccionaron cinco sitios de muestreo, considerando las diferentes actividades humanas que se desarrollan en la región, y en función del uso comunitario que se hace del recurso agua. Dos son afluentes del río Zinapécuaro, el manantial de La Yerbabuena (Yman), que proporciona agua potable a la rancharía, se usa como potrero y tiene sembradíos en los alrededores; y el río Yerbabuena (Yrío), empleado como abrevadero, además de verter las aguas residuales del poblado y de un aserradero. El tercer sitio es un aljibe recolector de manantiales que surte de agua potable al poblado La Yerbabuena (Elaj). Tanto el poblado La Galera (Lgal) como el balneario Las Orquídeas (Lorq) forman parte del cauce principal de este cuerpo de agua; el primero se utiliza como abrevadero y desagüe, en tanto que el segundo atrae al turismo, ya que se encuentra en una zona de bosque de pino con numerosos manantiales que se incorporan al río y tiene instalado un banco de materiales que vierte desechos de caolín directamente a la corriente (Tabla 1, Fig. 1).

Se efectuaron cuatro recolectas, una en poslluvias en noviembre de 2012 y tres en 2013: estiaje (abril), lluvias (junio) y poslluvias (noviembre). *In situ*, se midieron el oxígeno disuelto, nitritos, nitrógeno amoniacal, alcalinidad total y dureza total con un equipo HACH FF-1A. La profundidad se registró con una sonda graduada. Con un potenciómetro Conductronic PC-18 se determinaron los parámetros de temperatura, pH y sólidos disueltos totales (SDT) (Tabla 2).

Las muestras de diatomes epilíticas se tomaron de seis rocas seleccionadas de forma arbitraria, en zonas con flujo rápido, para cada

Tabla 1. Localización de los sitios de estudio en la cabecera del río Zinapécuaro con anotación de actividades humanas realizadas en la zona.

Sitios de muestreo	Acronimos	Coordenadas	Altitud (msnm)	*Actividades humanas
Manantial La Yerbabuena	(Yman)	19° 48' 21.6" N 100° 43' 01.7" O	2512	Af, P, S, Eud
El río Yerbabuena	(Yrío)	19° 48' 35.9" N 100° 42' 55.70" O	2493	Af, Ab, As, Ar, S
El Aljibe	(Elaj)	19° 48' 23" N 100° 42' 46" O	2492	Ap, Ha, S
La Galera	(Lgal)	19° 51' 45.9" N 100° 42' 04.2" O	2433	Ab, Ar, P, S
Las Orquídeas	(Lorq)	19° 50' 42.7" N 100° 46' 14.7" O	2057	Tl, Bm

*Nota: Af-afluente; P-potrero; S-sembradíos; Eud-extracción de agua para uso doméstico; Ab-abrevadero para aves de corral y ganado; As-aserradero; Ar-vertido de aguas residuales; Ap-almacenamiento de agua potable; Ha-huertas de aguacate; Tl-turismo local; Bm-banco de materiales.

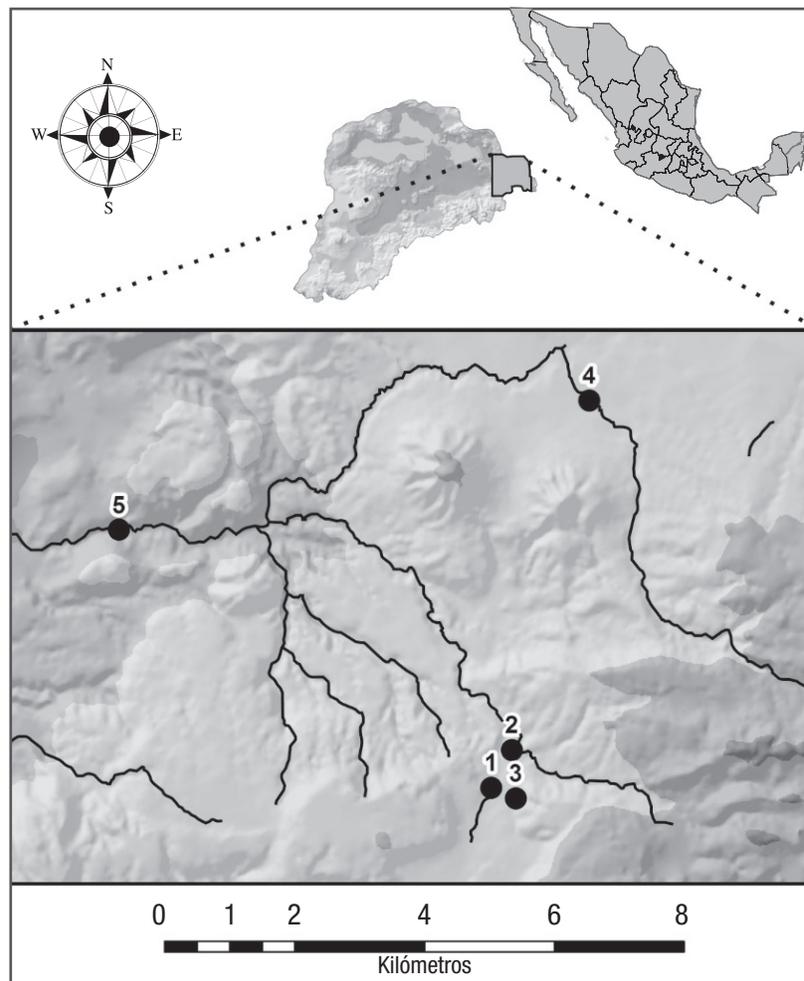


Figura 1. Localización de los sitios de estudio en la cabecera del río Zinapécuaro, Michoacán, México. 1) Manantial La Yerbabuena (Yman). 2) El río Yerbabuena (Yrío). 3) El Aljibe (Elaj). 4) La Galera (Lgal). 5) Las Orquídeas (Lorq).

sitio y temporada. Se empleó el método de Iserentant *et al.*, 1999, que consiste en cepillar la superficie superior de las rocas (aproximadamente 5 cm²) y fijar las muestras en formol al 4%. Las valvas de las diatomeas se limpiaron con peróxido de hidrógeno (40%) para eliminar la materia orgánica y con ácido clorhídrico (37%) para disolver el carbonato de calcio. Se hicieron dos preparaciones permanentes por sitio y temporada mediante el montaje de los frústulos limpios en resina sintética (Merck IR=1.5). Las valvas se identificaron con auxilio de un microscopio óptico Axiostar plus ® bajo una magnificación de 100x, según los criterios de Krammer, 1997; Krammer y Lange-Bertalot, 1997 a, b; Krammer y Lange-Bertalot, 2004 a, b; Lange-Bertalot, 2001; Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998, 2002; Metzeltin *et al.*, 2005.

A partir de las muestras ya limpias se tomaron submuestras de 200 µl con las cuales se contabilizaron 400 valvas por sitio y por temporada (Kelly *et al.*, 1998) y se obtuvo la abundancia relativa de los taxones. Con los datos de abundancia absoluta se estimó la riqueza (S); la diversidad se calculó con el índice de Shannon-Wiener; la similitud entre sitios y temporadas se evaluó a través de un análisis jerárquico de agrupación

con el método de liga promedio y el índice de similitud de Bray-Curtis. Los valores de diversidad obtenidos con el índice Shannon-Wiener se compararon con la prueba de *t* modificada por Hutcheson (Zar, 2010). La riqueza esperada se estimó empleando el modelo no paramétrico de acumulación de especies Chao 2 (Magurran, 2004) y los estimadores paramétricos de Jackknife 1 (JK 1) y Bootstrap (Boot). De igual forma, se aplicó un Análisis de Varianza de Similitudes (ANOSIM) para determinar diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la composición de las comunidades registradas por sitio y temporada, además de un Análisis de Correspondencia Canónica (CANOCO) para identificar cuáles de las variables fisicoquímicas medidas tuvieron mayor efecto sobre la distribución de las especies. La rarefacción se efectuó para evaluar la relación entre el esfuerzo de muestreo y el número de especies encontrado, así como para clarificar el efecto de las condiciones de los sitios y temporadas independientes al tamaño de muestra, para los que se emplearon las abundancias absolutas registradas por sitio y temporada. Los análisis se llevaron a cabo con los programas BioDiversity (McAleece *et al.*, 1997) y PAST v. 2.17 (Hammer *et al.*, 2001).

Tabla 2. Variables fisicoquímicas de los sitios de muestreo en la cabecera del río Zinapécuaro en el periodo 2012 y 2013.

Acronimos	Z (cm)	T (°C)	pH	O.D. (mg/L)	SDT (ppm)	N-NO ₂ (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	Alc (fenof-mg/L)	Dt (mg/L)	Tipo de flujo	
pII_2012	Yman	40	16.6	7	8	-	0	0.2	51.3	34.2	T
	Yrío	40	17.6	7.4	8	-	0	0.1	68.4	51.3	T
	Lgal	5	15	7.8	8	-	0	0.4	85.5	153.9	L
	Lorq	20	17.6	7.8	8	-	0	0.2	85.5	68.4	T
est_2013	Yman	40	15.1	7.9	7.0	43	0.0	0.12	13.7	34.2	T
	Yrío	35	15.4	7.6	8.0	46	0.0	0.64	42.7	34.2	T
	Elaj	0	15.5	7.2	4.0	32	0.01	0.51	34.2	34.2	s/f
	Lgal	10	14.5	7.9	4.0	767	0.0	0.12	34.5	171	L
II_2013	Lorq	20	19.2	7.7	7.0	75	0.0	0.0	68.4	51.3	T
	Yman	45	17.2	7.2	7.0	43	0.1	0.12	68.4	34.2	T
	Yrío	40	17.5	7.2	7.0	41	0.2	0.5	68.4	34.2	T
	Lgal	10	16.1	8.2	10.0	623	0.1	0.5	153.9	153.9	L
pII_2013	Lorq	20	22.3	7.7	6.0	97	0.2	0.3	119.7	51.3	T
	Yman	45	15.2	7.6	7.0	43	0.1	0.1	51.3	51.3	T
	Yrío	40	15.3	7.4	7.0	44	0.1	0.1	69.6	51.3	T
	Lgal	13	15.7	7.3	7.0	183	0.2	0.9	34.2	85.5	L
Lorq	20	16.5	7.2	7.0	119	0.1	1.3	68.4	68.4	T	

Z=Profundidad. T=Temperatura. O.D.=Oxígeno Disuelto. SDT=Sólidos disueltos totales. N-NO₂=Nitritos. N-NH₄=Amonio. Alc= Alcalinidad a la fenofaleína. Dt.=Dureza total. T=Flujo turbulento. L=Flujo laminar. s/f=Sin flujo.

RESULTADOS

Caracterización ambiental. Con base en las características fisicoquímicas, el río Zinapécuaro se puede considerar como un cuerpo de agua subtropical (14.5 - 22.3 °C). Presenta aguas de circumneutrales a alcalinas (pH 7.0 - 8.2); con una concentración de sólidos disueltos que se vio incrementada en La Galera durante el periodo de estiaje (767 ppm) y lluvias (623 ppm) de 2013. Las concentraciones de oxígeno disuelto tuvieron condiciones de mediana oxigenación (4.0 mg/L) en el estiaje y hasta muy elevada en la época de lluvias (10.0 mg/L). En relación con la profundidad, el valor mínimo fue para poslluvias (2012) (5 cm), salvo en El Aljibe que prácticamente estaba vacío y sólo se presentaron pequeñas charcas. El amonio tuvo la concentración máxima en poslluvias (2013) (0.9 mg/L) y los nitritos aumentaron sus valores en lluvias y poslluvias (2013) (0.1 y 0.2 mg/L respectivamente). En cuanto a la alcalinidad el valor máximo se presentó en lluvias (2013) (153.9 mg/L); la dureza total compartió el valor máximo tanto en poslluvias (2012) como en lluvias (2013) (153 mg/L) (Tabla 2).

Riqueza por sitio y temporada. Como resultado del muestreo en los cinco sitios y las cuatro recolectas se registraron 70 especies, seis variedades y una forma de diatomeas epilíticas. Estos taxones representan una familia, dos géneros y dos especies de la clase Coscinodisphyceae; una familia, tres géneros, seis especies y dos variedades de la clase Fragilariophyceae y 15 familias, 25 géneros, 62 especies, cuatro variedades y una forma correspondieron a la clase Bacillariophyceae.

En la tabla 3 se enlistan las especies y sus autoridades por clase taxonómica y orden alfabético.

Las especies que se encontraron en todos los sitios de muestreo y en las cuatro temporadas fueron: *Achnanidium exiguum*, *A. minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Frustulia latita*, *F. neomundana*, *Gomphonema lagenula*, *Navicula rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Planothidium frequentissimum*, *P. lanceolatum* y *Rhopalodia brebisonii*.

Entre las especies que tuvieron baja abundancia relativa en un sitio y en una temporada se encontraron *Amphora ovalis*, *Caloneis spec. cf. bacillum*, *Cocconeis pseudothumensis*, *Diploneis pseudovalis*, *Eunotia bilunaris*, *E. cataractarum* *Fragilaria capucina* aff. *gracilis*, *Frustulia krammeri*, *Gomphonema clavatum*, *Navicula clementis*, *Nitzschia umbonata*, *Pinnularia gibba*, *Placoneis undulata*, *Stephanodiscus niagarae* y *Ulnaria goulardii*. En tanto, aquéllas con baja abundancia en un sitio fueron *Achnanthes inflata*, *Eunotia formica*, *E. quaternaria* y *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Tabla 4).

Como se puede apreciar en la Tabla 5, las estimaciones de riqueza obtenidas con los diferentes modelos utilizados, indicaron que para toda el área y las temporadas muestreadas se esperaría registrar entre 78 y 87 especies, por lo que el estudio conjunta entre el 80.5% y el 89.7% de lo estimado. Por temporadas, se aprecia que las 55 especies registradas durante el estiaje representaron la época más rica; pero

Tabla 3. Listado taxonómico por clases y orden alfabético, de las diatomeas epilíticas recolectadas en la cabecera del río Zinapécuaro.

Coscinodiscophyceae	Fragilariophyceae	Bacillariophyceae
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i> (Kützing) Skabitschewsky	<i>Fragilaria capucina</i> aff. <i>gracilis</i> (Østrup) Hustedt	<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow
<i>Stephanodiscus niagarae</i> Ehrenberg	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki
	<i>Stausosirella pinnata</i> var. <i>pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams et Round	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki
	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M.Aboal in Aboal, Alvarez Cobelas, Cambra & Ector	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing
	<i>Ulnaria gouldarii</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	<i>Caloneis hyalina</i> Hustedt
		<i>Caloneis</i> aff. <i>bacillum</i> (Grunow) Cleve
		<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg
		<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg
		<i>Cocconeis pseudothumensis</i> Reichardt
		<i>Craticula accomoda</i> (Hustedt) D.G. Mann in Round, R. M. Crawford & D. G. Mann 1990
		<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald in Rabenhorst
		<i>Diploneis pseudovalis</i> Hustedt
		<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D. G. Mann in Round, R. M. Crawford & D. G. Mann 1990
		<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Gerd Moser, Lange-Bertalot et D. Metzeltin
		<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Mills
		<i>Eunotia cataractarum</i> Furey, Lowe et Johansen
		<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg
		<i>Eunotia quaternaria</i> Ehrenberg
		<i>Eunotia veneris</i> (Kützing) De Toni
		<i>Frustulia krammeri</i> Lange-Bertalot et Metzeltin
		<i>Frustulia latita</i> Graeff et Kociolek
		<i>Frustulia neomundana</i> Lange-Bertalot et Rumrich
		<i>Geissleria ignota</i> (Krasske) Lange-Bertalot et Metzeltin
		<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg
		<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
		<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing
		<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i> Grunow in Van Heurck 1880
		<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i>
		<i>Gomphonema pseudoaugur</i> Lange-Bertalot
		<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i> Lange-Bertalot et Reichardt
		<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round et P.W. Basson
		<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch ex Rabenhorst) D. G. Mann in Round, R. M. Crawford & D. G. Mann 1990
		<i>Luticola mutica</i> (Kützing) Mann in Round, Crawford et Mann
		<i>Navicula angusta</i> Grunow
		<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot
		<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain ex Gasse
		<i>Navicula clementis</i> Grunow
		<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing
		<i>Navicula germainii</i> Wallace
		<i>Navicula recens</i> Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot 1985
		<i>Navicula rhyngocephala</i> Ehrenberg
		<i>Navicula symmetrica</i> Patrick
		<i>Navicula veneta</i> Kützing

Continuación tabla 3.

Coccinodiscophyceae	Fragilariophyceae	Bacillariophyceae
		<i>Navicula wildii</i> Lange-Bertalot
		<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow
		<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch
		<i>Nitzschia filiformis</i> (W. Smith) Van Heurck
		<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch
		<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow
		<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith
		<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot
		<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg
		<i>Pinnularia hyalina</i> Hustedt
		<i>Pinnularia interrupta</i> W. Smith
		<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve
		<i>Pinnularia microstauron</i> var. <i>angusta</i> Krammer
		<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg
		<i>Placoneis undulata</i> (Østrup) Lange-Bertalot
		<i>Planothidium frequentissimum</i> Lange-Bertalot
		<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot
		<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot
		<i>Rhopalodia brebissonii</i> Krammer
		<i>Surirella minuta</i> Brébisson ex Kützing

también fue la que menor representación de riqueza obtuvo con un máximo de 83.3 % de la riqueza específica esperada, de acuerdo con los diferentes estimadores utilizados. En la temporada de lluvias se registró entre el 79% y el 90.7% de la riqueza esperada, que constituyen los valores más altos y menos variables de representación de la riqueza esperada (Tabla 5).

En general, las diferencias entre las estimaciones de riqueza y la riqueza registrada fueron menores del 5% con Bootstrap, en la época de poslluvias (2012) a 40% aproximadamente en el estiaje (2013), de acuerdo con el estimador Chao 2.

La Galera fue el sitio con menor riqueza y también el mejor representado en riqueza con 91.7 al 100% de lo esperado; mientras que los sitios del manantial y río La Yerbabuena comprendieron registros de 75 a 86% de la riqueza esperada (Tabla 6).

La técnica de rarefacción permitió apreciar que en general el esfuerzo de muestreo utilizado fue el adecuado para recoger la riqueza específica de diatomeas epilíticas en los sitios y temporadas estudiados, excepto en el manantial y el río Yerbabuena durante la época de lluvias (2013) y el manantial de la Yerbabuena en el estiaje (2013), cuyas curvas mostraron aún tendencia creciente, lo que sugirió que se requeriría un número mayor de submuestras para alcanzar una buena representación de su riqueza (Figuras 2, 3, 4 y 5). También se puede apreciar que las diferencias de riqueza encontradas entre los sitios no es un efecto del número de individuos capturados, sino de las características y condiciones de los sitios, los cuales presentan diferencias importantes en los parámetros fisicoquímicos medidos.

Diversidad por sitios/temporadas. La tabla 7 muestra los valores de diversidad medida con el índice de Shannon (H') para cada sitio y temporada. El valor más alto, según la temporada, se presentó en época de

lluvias (2013) en Las Orquídeas (2.724) sin diferencia significativa con El Aljibe en la época de estiaje, lo mismo ocurrió en ambos sitios durante poslluvias en 2013. Los valores más bajos para las cuatro épocas muestreadas se presentaron en La Galera, esto sugiere un efecto importante de las condiciones de este sitio en la diversidad de diatomeas. La misma situación se apreció con los cinco valores más elevados de diversidad, los cuales correspondieron a tres temporadas diferentes y tan sólo a tres sitios: Las Orquídeas (contó con tres de estos valores), El aljibe y el río Yerbabuena.

Similitud entre sitios y temporadas. La prueba estadística ANOSIM de una vía para temporadas, no mostró diferencia estadística significativa en similitud, producto de la época de muestreo ($p > 0.05$); mientras que para evaluar el efecto de los sitios, el análisis con el índice binario de semejanza de Jaccard, mostró diferencia de riqueza entre La Galera con respecto a tres de las otras localidades, excepto con El Aljibe. Al aplicar el análisis cuantitativo con el índice de Bray-Curtis, se recuperaron las diferencias de La Galera anteriormente mencionadas, además de la diferencia entre el manantial de La Yerbabuena y Las Orquídeas (Tabla 8).

La figura 6 muestra un gráfico de agrupación con el índice de Bray-Curtis en el que se aprecia un grupo formado por tres de los cuatro muestreos del sitio La Galera, que refleja las diferencias mencionadas.

El Análisis de Correspondencia Canónico mostró más de 70% de la variación explicada en los dos primeros ejes de ordenación, los valores de correlación canónica obtenidos (Tabla 9) indicaron que la distribución de las especies estudiadas varió de acuerdo con la profundidad, nitritos, amonio, pH y dureza total.

El ACC permitió separar tres grupos principales de especies como se observa en la figura 7. El primer grupo de especies, formado por *Navicula antonii*, *N. germainii*, *N. recens*, *Nitzschia filiformis*, *N. incons-*

Tabla 4. Abundancia relativa de las diatomeas epilíticas en la cabecera del río Zinapécuaro durante el periodo de estudio (2012-2013).

Taxa	Acronimo	pll_2012 (%)				est_2013 (%)					II_2013 (%)				pll_2013 (%)			
		Yman	Yrio	Lgal	Lorq	Yman	Yrio	Elaj	Lgal	Lorq	Yman	Yrio	Lgal	Lorq	Yman	Yrio	Lgal	Lorq
<i>Achnanthes inflata</i>	ACIN	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0
<i>Achnantheidium exiguum</i>	ACEX	1	2.35	0	0	4.75	0.8	2	0	1.5	1.5	9.5	0	0.75	0.5	39.75	0	2.25
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	ACMI	0	9.41	9.25	9.75	14	20.16	17	0.5	3.75	6.5	2.25	10.5	4.25	1.5	9.5	0	11
<i>Amphora ovalis</i>	AMOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Caloneis hyalina</i>	CAHY	4.75	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0.75	0.5	0	0	0	0.5	0	1.5
<i>Caloneis spec. cf. bacillum</i>	CABA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis euglypta</i>	COEG	0	0	0	0	0	1.61	0	0	2.75	0	4.75	0	14.25	0	0	0	0
<i>Cocconeis lineata</i>	COLI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.25	0	0.5	0	0
<i>Cocconeis pseudothumensis</i>	COPS	0	0	0	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Craticula accomoda</i>	CRAC	0	0	0	0	0	0	0	0	1.25	0.25	16.5	0	0	1.25	12	0	0
<i>Cymbella naviculiformis</i>	CYNA	0.5	4.7	0	0	1	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0
<i>Diploneis pseudovalis</i>	DIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Encyonema silesiacum</i>	ENSI	0.25	0	0	0	0.75	0	0.25	0	0.5	6	1.75	0	0	0	0.25	0	0
<i>Eolimna subminuscula</i>	EOSU	0.5	4.7	1	4.78	1	10.48	5.75	0.25	0.5	1.5	0.75	0	1.25	0.75	1.25	0	0
<i>Eunotia bilunaris</i>	EUBI	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia cataractarum</i>	EUCA	0	0	0	0	0	0	0	0	1.75	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia formica</i>	EUFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.25	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia quaternaria</i>	EUQU	0	0	0	0	0	3.22	0	0	0	0	0	0	0	0.75	1	0	0
<i>Eunotia veneris</i>	EUVE	0.25	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1.25	0	0	0
<i>Fragilaria capuccina aff. gracilis</i>	FRGR	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria capuccina var. vaucheriae</i>	FRVA	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Frustulia krammeri</i>	FRKR	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Frustulia latita</i>	FRLA	3.75	3.52	0	0	1.5	2.41	1.25	0	0.5	4.5	0.5	0	2	2.75	1	0	16.25
<i>Frustulia neomundana</i>	FRNE	3.5	1.17	0	7.31	1	4.03	0.75	0	0.75	2.75	1	0	0.5	3.25	0.75	0	3.25
<i>Geissleria ignota</i>	GEIG	0	0	0	0	0	0	2.25	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0
<i>Gomphonema clavatum</i>	GOCL	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema gracile</i>	GOGR	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0
<i>Gomphonema lagenula</i>	GOLA	0.25	0	0.5	4.78	0	0	4.5	0	0.75	2.75	0.25	0.25	0	6.75	1	0	0.75
<i>Gomphonema parvulum var. exilissimum</i>	GOEX	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0.75	0	0	0.25	1.5	1	0	0.75
<i>Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum</i>	GOPA	0	0	2.25	0	0	0	8.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	GOPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	GORI	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	1.5	0	0	0	1
<i>Lemnicola hungarica</i>	LEHU	0	0	0	0	7.5	0	0.25	0	0	0.25	8.5	0	0.25	0.5	0	0	0
<i>Luticola goeppertiana</i>	LUGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0.5	0	0	0	0
<i>Luticola mutica</i>	LUMU	0	1.17	0	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0

Continuación tabla 4.

Taxa	Acrónimo	pH_2012 (%)				est_2013 (%)					II_2013 (%)				pH_2013 (%)			
		Yman	Yrío	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Elaj	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Lgal	Lorq
<i>Navicula angusta</i>	NAGU	0	0	0	0	1.75	0	0	0	0	0.5	0.75	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula antonii</i>	NAAN	0	0	0	0	0	0	0	1.25	0	0	0	1.25	0.25	0.75	0	0	0
<i>Navicula capitatoradiata</i>	NACA	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1	0	0	0	2.75	0	0	0	0
<i>Navicula clementis</i>	NACL	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula cryptocephala</i>	NACR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.75	0	0	0.25	1	0	0
<i>Navicula germainii</i>	NAGE	0	3.52	0	0	0	0	0	2	1.75	0	0	12	0	0	0	0	0
<i>Navicula recens</i>	NARE	0	0	4	0	0	0	0	17	0	0	0	6	0	0	0	0	0
<i>Navicula rhynchocephala</i>	NARH	3.75	0	0	0	0.75	15.32	0	0	6.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25
<i>Navicula symmetrica</i>	NASY	0	0	0	2.43	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	9.75
<i>Navicula veneta</i>	NAVE	0.5	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula wildii</i>	NAWI	1.25	21.17	0	9.75	0	4.03	14.25	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia amphibia</i>	NIAM	0	0	0	7.31	1.25	0	0	0.25	4.5	0	0	0.25	4.75	0	0	0	0.5
<i>Nitzschia clausii</i>	NICL	0.75	0	16.25	9.75	0	0	0	3.5	1.25	1.25	0	5.75	2.75	36	1.5	0	14.75
<i>Nitzschia filiformis</i>	NIFI	0	0	3.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia gracilis</i>	NIGR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia inconspicua</i>	NIIN	0	0	2	0	0	0	0	14.5	0	0	0.25	15.75	4	0	4	0	2.25
<i>Nitzschia palea</i>	NIPA	2.25	3.52	57.75	19.51	11	1.61	4.5	27.25	3.5	9.25	4	32	10.25	2.75	3.75	0	5.25
<i>Nitzschia umbonata</i>	NIUM	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia gibba</i>	PIGI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia hyalina</i>	PIHY	0	0	0	2.43	0.25	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia interrupta</i>	PIIN	0.5	0	0	0	0	0	0.75	0	0.5	0.25	0	0	0.5	0	0	0	2.25
<i>Pinnularia microstauron</i>	PIMI	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0
<i>Pinnularia microstauron var. angusta</i>	PIAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0
<i>Pinnularia viridis</i>	PIVI	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0.25	0.5	0	0	0	0	0
<i>Placoneis undulata</i>	PLUN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR	50.5	18.82	1.5	14.63	10.25	15.32	6.25	0	21	12.25	4.5	0	11	7.5	2.5	0	2
<i>Planothidium lanceolatum</i>	PLLA	25.25	18.82	0.25	2.43	33.75	14.51	16.75	0	35	35.75	7.5	0	13	24.5	8.25	0	2
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	RHAB	0	0	0	0	0	4.03	0	0	6	0	19.25	0	9.75	0	0.5	0	2
<i>Rhopalodia brebisonii</i>	RHBR	0.5	0	0	0	4.75	1.61	0	0	0.25	10.25	14.75	0	0.5	0	7.75	0	17.75
<i>Staurosirella pinnata var. pinnata</i>	STPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0.5	0	0	0	0
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i>	STME	0	0	0	0	0	0	0	32	0.5	0	0	14.5	0.5	0	0	0	0.25
<i>Stephanodiscus niagarae</i>	STNI	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella minuta</i>	SUMI	0	0	1	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0.75
<i>Ulnaria acus</i>	ULAC	0	0	0	0	0	0	1.75	0	0	0	0.25	0	1.25	2.75	0	0	0.75
<i>Ulnaria gouldarii</i>	ULGO	0	0	0	0	0	0	4.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL (%):		100	99.87	100	99.72	100	99.94	100	100	100	100	100	100	100	96.25	99.75	0	97.5

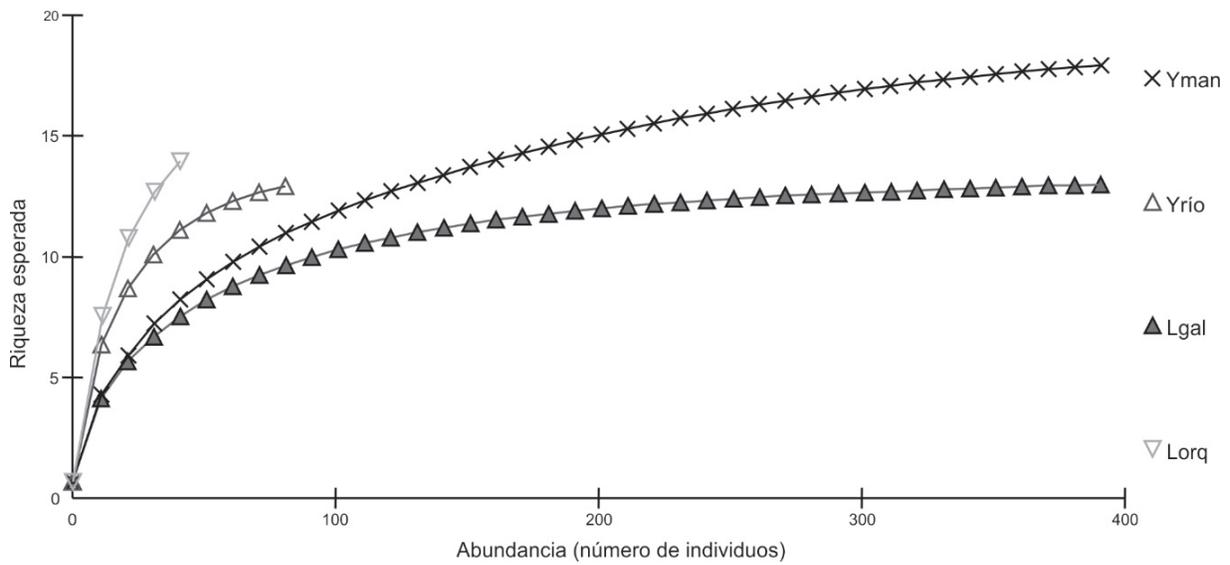


Figura 2. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de poslluvias (2012).

picua, *N. gracilis*, *N. palea*, *N. umbonata* y *Stephanocyclus meneghiniana*, se encuentra en sitios con menor profundidad, elevados valores de dureza total y medios alcalinos. En el lado superior derecho del gráfico se aprecia otro grupo de especies, entre las que se ubican a *Craticula accomoda*, *Diploneis pseudovalis*, *Encyonema silesiacum*, *Eunotia quaternaria*, *E. veneris*, *Fragilaria capuccina* var. *vaucheriae*, *Frustulia latita*, *Gomphonema pseudoaugur*, *Lemnicola hungarica*, *Navicula cryptocephala*, *Rhoicosphenia abbreviata* y *Rhopalodia brebissonii*, por mencionar algunas y que se le asocia a zonas de mayor profundidad, mayores concentraciones de nitritos y amonio y bajas concentraciones de dureza total y medios circunneutrales. Un tercer grupo de especies, integrado por *Cocconeis pseudothumensis*, *Cymbella naviculiformis*, *Eolimna subminuscula*, *Eunotia cataractarum*, *E. bilunaris*, *Frustulia*

krammeri, *Geissleria ignota*, *Luticola mutica*, *Navicula wildii*, *Planothidium frequentissimum*, entre otras, se vincula con elevados valores de profundidad, bajas concentraciones de nitritos y amonio. El resto de las especies se encuentran en valores intermedios de concentraciones de nitritos y amonio, en diferentes profundidades, medios circunneutrales y bajas concentraciones de dureza total.

DISCUSIÓN

Se ha considerado que la distribución de las comunidades de diatomeas bentónicas es el resultado de las interacciones espaciales y temporales de los factores fisicoquímicos, más que de los factores geológicos o climáticos (Potapova & Charles, 2002); por ello, la química del agua ha

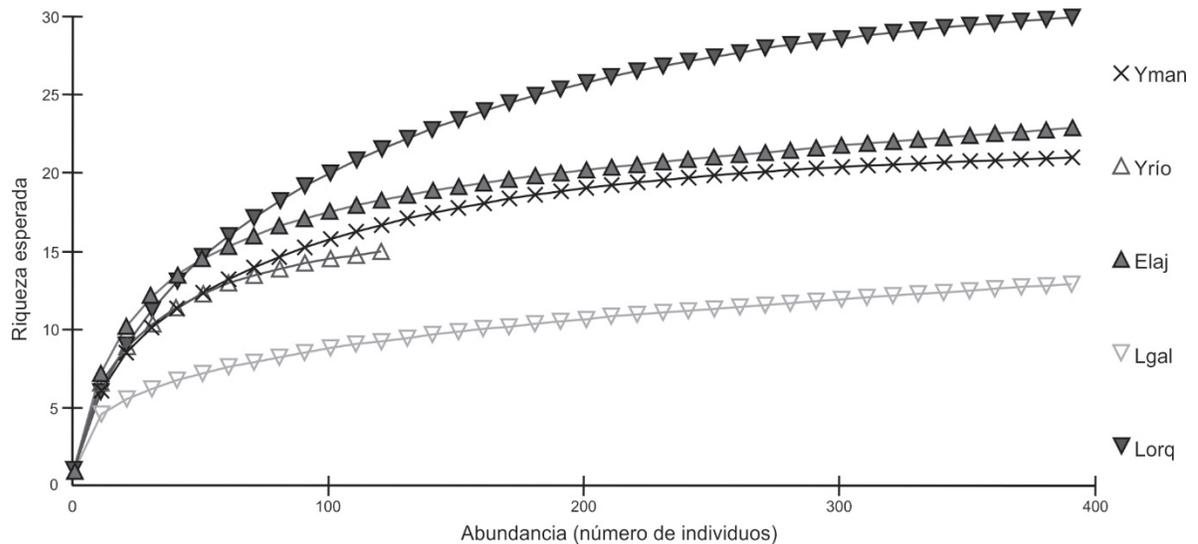


Figura 3. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de estiaje (2013).

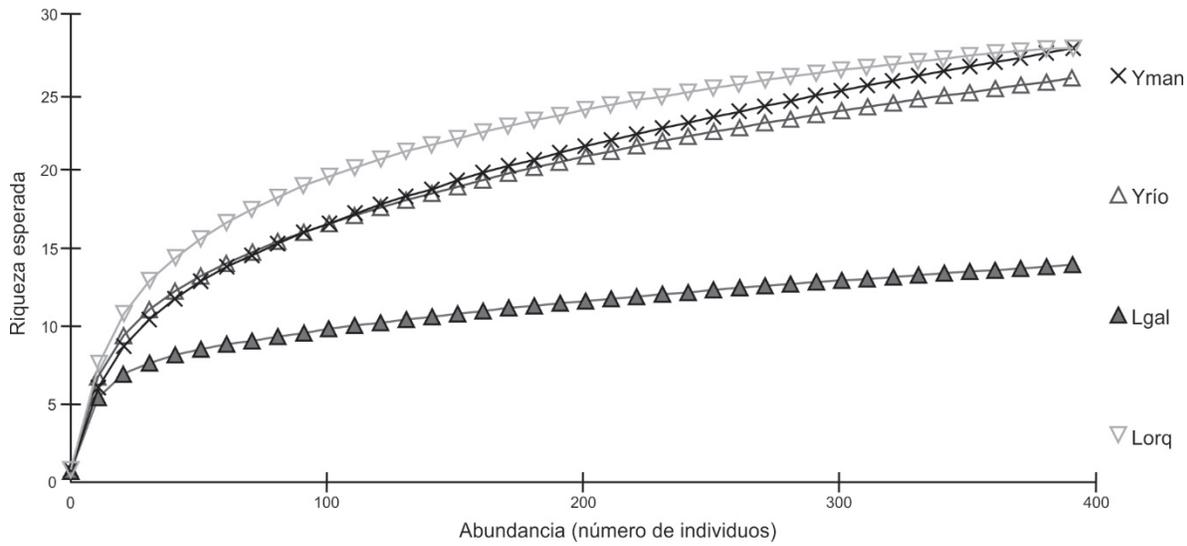


Figura 4. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de lluvias (2013).

sido considerada como el elemento crucial para la composición de las especies (Soininen *et al.* 2004).

En el caso de la cabecera del río Zinápecuaro se observaron cambios en los valores de los parámetros fisicoquímicos así como variaciones de la comunidad de diatomeas en las temporadas de estudio. Los sitios manifestaron poca contaminación y una incipiente perturbación, resultado del manejo antrópico que se da al río en esta zona (Tabla 1). Esto explica la presencia de especies como *Eolimna subminuscula*, *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema lagenula*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, o *Navicula veneta*, que por sus afinidades ecológicas indican cierto

grado de eutrofización (Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011) (Tabla 4).

Especies como *Achnantheidium minutissimum*, *Planothidium frequentissimum* y *Rhoicosphenia abbreviata*, sensibles a la contaminación y reportadas para aguas oligotróficas a mesotróficas (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Prygiel & Coste, 2000; Segura-García, 2011) también exhiben las mismas condiciones de oligotrofia a mesotrofia en el área de estudio (Tabla 4).

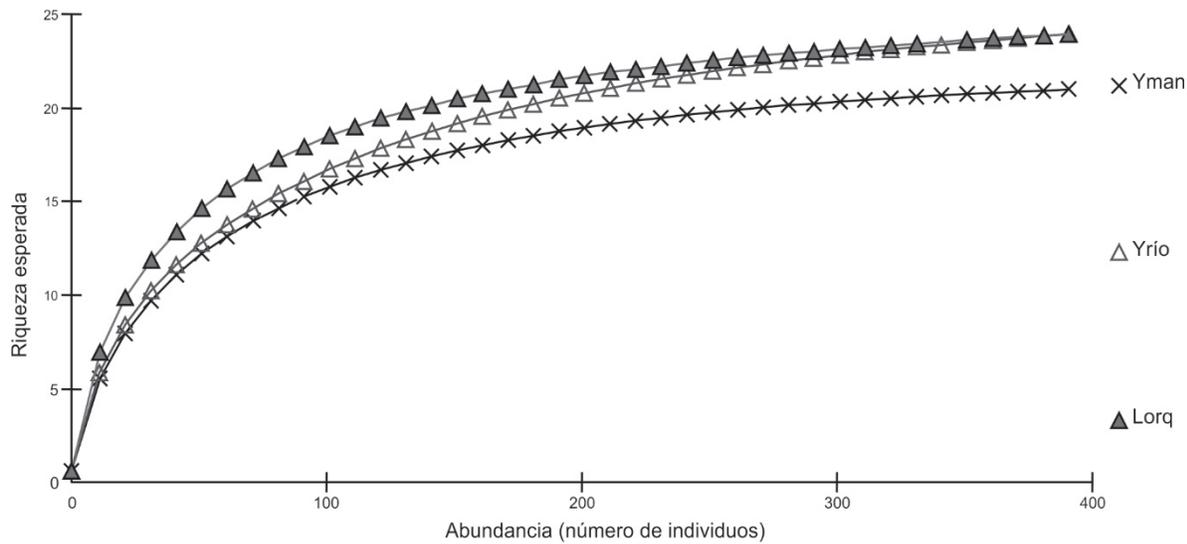


Figura 5. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de poslluvias (2013).

Aunque la temperatura del agua varía con el gradiente altitudinal y con la radiación solar (Pedraza-Garzón, 2011), la temperatura no tuvo relación aparente con la oxigenación, por lo que se observaron temperaturas templadas durante el muestreo y éste no fue un factor determinante en la distribución de las especies.

El oxígeno disuelto se mantuvo con elevadas concentraciones en el manantial y el río Yerbabuena y Las Orquídeas en todas las temporadas (6.0 - 8.0 mg/L) debido a que en esos sitios el flujo de agua es turbulento, tienen pendiente pronunciada, con zonas de rápidos, con fondo pedregoso que favorecen la solubilidad de este gas (Penalta-Rodríguez, 2007). Sin embargo, la baja riqueza de especies observada en El aljibe y La Galera durante el estiaje (2013) se vio relacionada con las bajas concentraciones de oxígeno (4.0 mg/L, para ambos casos). En el primer sitio el flujo de agua era imperceptible, lo que inhibió la solubilidad del oxígeno y en el segundo fueron evidentes los drenajes de las viviendas que se vaciaron al río, además de observarse un florecimiento de *Microcystis aeruginosa* por lo que la actividad bacteriana abatió las concentraciones de oxígeno, consecuencia del proceso de eutrofización (De León, 2002).

El área de estudio se ve influenciada por las actividades que se desarrollan en el campo geotérmico de Los Azufres, localizado en la parte más alta de la cuenca (2,800 m.s.n.m.). Entre los problemas de alto impacto provenientes de esas labores se encuentran la generación de vapor, la mezcla de agua-vapor y la producción de salmuera, la cual es reinyectada por gravedad al subsuelo (Valdéz *et al.*, 2013). Específicamente la infiltración de la salmuera al manto freático influyó en el aumento de valores de pH que oscilaron de circunneutrales a alcalinos

Tabla 5. Estimaciones de riqueza específica y proporción representada por la riqueza observada por temporada de muestreo. La proporción que representa la riqueza registrada con respecto al estimado se muestra en porcentaje dentro del paréntesis.

Temporada	Riqueza observada	Estimadores		
		Chao 2	Jackknife 1	Bootstrap
Poslluvias (2012)	32	45 (71.11)	48 (66.67)	43 (74.41)
Estiaje (2013)	55	91 (60.44)	81 (67.90)	66 (83.33)
Lluvias (2013)	49	54 (90.74)	62 (79.03)	56 (87.50)
Poslluvias (2013)	37	58 (63.79)	47 (78.72)	39 (94.97)
Total	70	83 (84.34)	87 (80.46)	78 (89.74)

durante la investigación (7.0 - 8.2). Por otro lado, los compuestos derivados de la salmuera también repercuten en el aumento de la concentración de sólidos disueltos totales en las aguas freáticas de la cuenca, muy notorio en La Galera durante 2013 (183 - 767 mg/L), aunque en poslluvias un tramo del río haya estado seco debido a la extracción de agua para el poblado. En Las Orquídeas, en el mismo año (119 mg/L), la elevada concentración se debió a que el banco de materiales ahí establecido aumentó el vertido de residuos hacia el cauce.

En el caso de la alcalinidad los máximos valores se observaron en temporada de lluvias (2013) para dos sitios; La Galera (153.9 mg/L) y

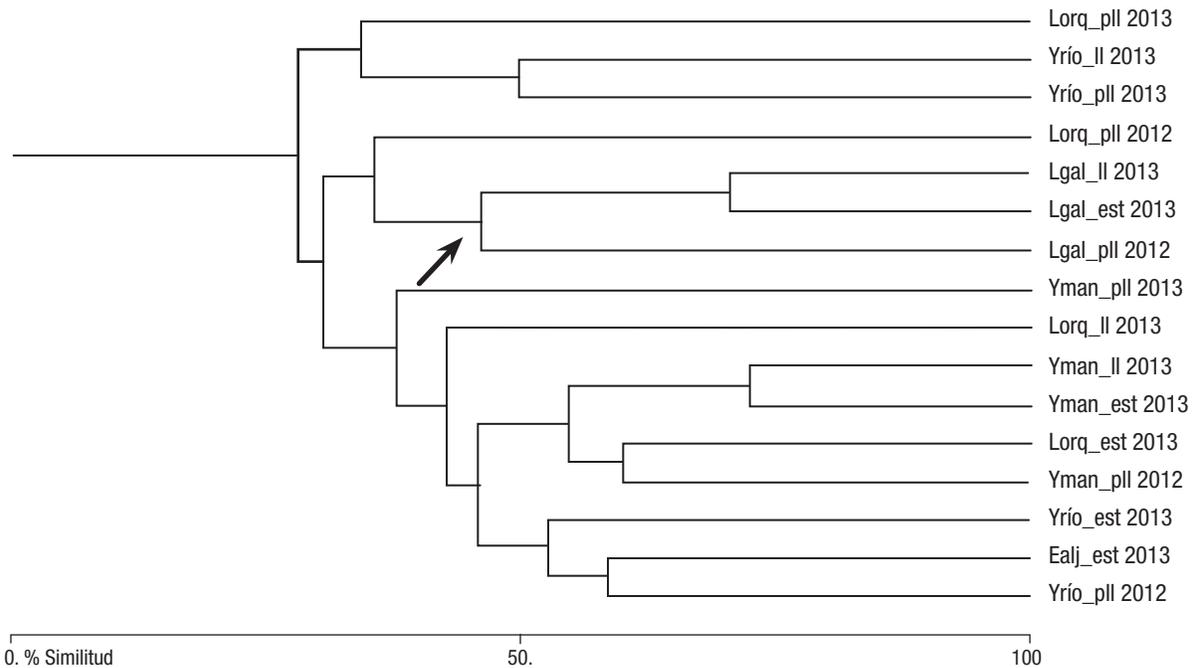


Figura 6. Agrupación de los sitios de muestreo por sitios/temporadas obtenido con el Índice de Bray-Curtis, método de liga promedio. La flecha indica el grupo formado por tres de las recolectas en La Galera.

Tabla 6. Estimaciones de riqueza por sitio muestreado. Entre paréntesis se muestra el porcentaje que representa la riqueza observada con respecto a la estimación.

	Riqueza Observada	Estimadores		
		Est. Chao 2	Est. JK 1	Est. Boot
Elaj *	23	-----	-----	-----
Yman	40	51 (78.43)	52 (76.92)	46 (86.95)
Yrío	37	45 (82.22)	49 (75.51)	43 (86.04)
Lgal	22	22 (100.00)	24 (91.66)	22 (100.00)
Lorq	44	50 (88.00)	54 (81.48)	48 (91.66)
Total	70	83 (84.34)	87 (80.46)	78 (89.74)

* En El Aljibe sólo se tuvo un muestreo por lo que no es posible estimar la riqueza esperada

Las Orquídeas (119.7 mg/L). Con respecto a las mayores concentraciones de dureza total, se midieron en La Galera durante poslluvias (2012) (153.9 mg/L) y estiaje y lluvias (2013) (171 y 153.9 mg/L, respectivamente), consecuencia del transporte del material río abajo; estas variables se encuentran en relación directa con el comportamiento del pH (Wetzel, 2001). Especies como *Amphora ovalis* registrada en Las Orquídeas en estiaje 2013 y las especies de *Nitzschia*, así lo indicaron durante toda la temporada de estudio (Van Dam *et al.*, 1994).

En cuanto a los valores de nitritos y amonio, se encontraron bajas concentraciones de estas variables como resultado de aguas bien oxigenadas (Wetzel, 2001). Sin embargo, estos compuestos fueron determinantes para la presencia de especies como *Craticula accomoda*, *Encyonema silesiacum*, *Eunotia veneris*, *E. quaternaria*, *Frustulia latita*, *Fragilaria capuccina* var. *vaucheriae*, *Gomphonema pseudoagur*, *Lemnicola hungarica*, *Navicula angusta*, *N. cryptocephala*, por mencionar algunas, las cuales toleran diversas concentraciones de estos elementos (Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011).

Salvo en el caso del amonio, la máxima concentración se midió en Las Orquídeas durante poslluvias (2013) (1.3 mg/L), lo que indicó que en el sitio hay contaminación de origen industrial (banco de extracción de materiales), por escorrentía de zonas de cultivo, huertas de aguacate y aguas residuales, es decir, elevada eutrofización. Especies como *Gomphonema lagenula*, *G. pseudoagur*, *G. pumilum*, *Navicula symmetrica*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Pinnularia interrupta*, *Planothidium lanceolatum*, *Rhopalodia brebisonii* y *Surirella minuta*, registradas en el sitio, han sido reportadas para otros países en ríos próximos a terrenos agrícolas cuyas escorrentías contienen alta concentración de fosfatos y nitratos, así como para aguas eutróficas (Cox, 1996; Dere *et al.*, 2006; Germain, 1981; Köster & Hübener, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004a, b; 2007a, b; Lange-Bertalot, 2001; Leland & Porter, 2000; Martínez de Fabricius *et al.* 2003; Ndiritu *et al.* 2006; Novelo *et al.* 2007; Novelo, 1998; Szczepocka & Szulc, 2006; Zampella *et al.* 2007). Lo anterior, es un escenario semejante que prevalece en Las Orquídeas.

En el sitio también se registraron especies como *Achnanthydium exiguum*, *A. minutissimum*, *Planothidium frequentissimum* o *Rhoicosphenia abbreviata* que son sensibles a la contaminación y reportadas

para aguas oligotróficas a mesotróficas (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Prygiel & Coste, 2000; Segura-García, 2011), diatomeas provenientes por deriva, desde los manantiales que afloran en la zona y que se incorporan en este tramo del río.

Las diferencias de riqueza específica entre el manantial de la Yerbabuena durante el estiaje (2013) (Fig. 3) y el manantial y río Yerbabuena en la época de lluvias (2013) (Fig. 4) se debió especialmente al cambio de temporada, ya que durante el estiaje la profundidad del río fue menor, por lo que la turbulencia no fue tan intensa. En la temporada de lluvias aumentó el caudal y puesto que es un canal estrecho se generaron remolinos y corrientes circulares, lo que permitió una fuerza hidráulica importante para el transporte de partículas en suspensión (Reid & Wood, 1976). Por tanto, se propició el aumento en el número de especies para esta temporada.

El valor de diversidad de Shannon (H') sin diferencias significativas para Las Orquídeas y El aljibe en tres temporadas (Tabla 7) fue debido a que en ambas localidades se incorporan manantiales al sistema, lo que generó condiciones similares; además de compartir especies que se consideran indicadoras de aguas oligotróficas como *Achnanthydium minutissimum*, *Planothidium frequentissimum* y *Rhoicosphenia abbreviata* (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lan-

Tabla 7. Diversidad estimada con el Índice de Shannon-Wiener por sitios/temporadas. En la columna de la derecha se indican las diferencias estadísticas entre sitios/temporadas. Letras diferentes representan valores de diversidad estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Valores marcados en negritas representan el efecto de las condiciones de los sitios en la diversidad de diatomeas.

Sitio/Temporada	Valor de H'	
Las Orquídeas/lluvias 2013	2.724	A
El Aljibe/estiaje 2013	2.568	AB
Las Orquídeas/poslluvias 2013	2.542	AB
El río Yerbabuena/lluvias 2013	2.467	B
Las Orquídeas/poslluvias 2012	2.408	B
Las Orquídeas/estiaje 2013	2.346	C
Manantial La Yerbabuena/lluvias 2013	2.285	CD
El río Yerbabuena/estiaje 2013	2.278	D
Manantial La Yerbabuena/estiaje 2013	2.235	D
El río Yerbabuena/poslluvias 2012	2.202	D
El río Yerbabuena/poslluvias 2013	2.19	D
Manantial La Yerbabuena/poslluvias 2013	2.1	D
La Galera/lluvias 2013	1.949	D
Manantial La Yerbabuena/poslluvias 2012	1.712	E
La Galera/estiaje 2013	1.692	E
La Galera/poslluvias 2012	1.481	E

Tabla 8. Resultados de ANOSIM de una vía para la comparación de sitios/temporadas. Áreas sombreadas representan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Jaccard	Elaj	Lgal	Lorq	Yman	Yrío
Elaj	0				
Lgal	0.2621	0			
Lorq	0.4037	0.0258	0		
Yman	0.1955	0.0312	0.0288	0	
Yrío	0.4022	0.0272	0.1379	0.3113	0

ge Bertalot, 2004a, b; Prygiel & Coste, 2000; Segura-García, 2011). La presencia de *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Gomphonema lagenula*, especies indicadoras de contaminación (Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011), en ambos sitios revelan condiciones eutróficas, ya que El Aljibe se ve impactado por los agroquímicos de huertas de aguacate y sembradíos cercanos y Las Orquídeas recibe los residuos generados por el banco de materiales establecido en el lugar.

La agrupación entre el río la Yerbabuena (lluvias y poslluvias, 2013) y Las Orquídeas (poslluvias, 2013), obtenida en el análisis por temporadas y sitios, indicaría que su afinidad es consecuencia de las condiciones del río en esta zona, es decir, aguas con elevada oxigenación, con tendencia a la alcalinidad. En ambos sitios se registró a *Planothidium frequentissimum* como indicadora de medios oligotróficos; en tanto, *Navicula rhychocephala*, *Nitzschia palea* y *Planothidium lanceolatum* señalan la incorporación de materia orgánica al sistema (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011). En cuanto a La Galera, el río cruza en medio del poblado y los drenajes de las viviendas se vierten directamente al cauce sin ningún tipo de tratamiento. Las especies que estuvieron presentes en esta localidad son consideradas como tolerantes a niveles críticos de contaminación, indicadoras de ambientes hipereutróficos, bajas concentraciones de oxígeno disuelto y aumento de sólidos disueltos (Van Dam *et al.*, 1994; Cox, 1996; Lange-Bertalot, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004 b; Segura-García, 2011) (Fig. 6). Entre las especies que destacaron por su abundancia se encuentran *Navicula germainii*, *N. recens*, *Nitzschia clausii*, *N. inconspicua* y *N. palea* (Tabla 4).

De los grupos formados a partir del ACC, el perteneciente al del río Yerbabuena incluyó especies adaptadas a elevadas concentraciones de materia orgánica; el de La Galera es un buen indicador de ambientes perturbados por actividad humana (escorrentías de aguas residuales y potreros) (Lange-Bertalot, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004 b; Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998; Segura-García, 2011); mientras que el último grupo tolera bien la desecación y se encuentran en aguas oligotróficas a mesotróficas (Van Dam *et al.*, 1994; Lange-Bertalot, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004 b; Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998; Segura-García, 2011; Segura-García *et al.*, 2012).

Las especies de diatomeas encontradas en el presente estudio reflejaron las condiciones ambientales de cada sitio y temporada en las que fueron recolectadas, puesto que se identificaron especies indicadoras de aguas oligotróficas, ambiente inherente al nacimiento de un río, y especies que revelan contaminación proveniente de actividad urbana, industrial y agrícola.

Los resultados del presente estudio dieron a conocer que los géneros de diatomeas epilíticas mayormente representados fueron *Navicula* con 11 especies, *Nitzschia* y *Gomphonema* con 7 y *Pinnularia* con 6, todas pertenecientes al orden Pennales.

Fue evidente que las actividades humanas en la cabecera del río Zinapécuaro están modificando las características fisicoquímicas del agua, así como las condiciones ambientales en las que se encuentran los organismos. Especies de diatomeas previamente reportadas como indicadoras de sitios eutrofizados para otras regiones de México y del mundo fueron encontradas en este río como un efecto del impacto antrópico.

El análisis de las comunidades de diatomeas epilíticas de la cabecera del río Zinapécuaro ha demostrado ser muy útil para la evaluación de la variación espaciotemporal asociada a ella, sin embargo, es necesario continuar con muestreos estacionales que permitan caracterizar las condiciones ecológicas del cuerpo de agua, la utilidad de la composición, abundancia y distribución de las especies de diatomeas como bioindicadores de éste y otros sistemas acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores anónimos sus comentarios, quienes contribuyeron a mejorar el trabajo; también al Dr. Luis Giovanni Ramírez Sánchez por la elaboración del mapa del área de estudio.

Tabla 9. Valores de correlación canónica obtenidos para los diferentes parámetros fisicoquímicos medidos en los diferentes sitios y épocas. El eje 1 está relacionado positivamente con la profundidad y negativamente con el pH y la dureza total. El eje 2 está correlacionado positivamente con los nitritos y el amonio.

Variante	Coeficientes de correlación canónica		
Profundidad Z (cm)	0.587639	0.325134	-0.431062
Temperatura T (°C)	0.317233	0.002609	-0.188714
pH	-0.65557	-0.190009	-0.293711
Oxígeno disuelto [O. D.] (mg/L)	0.02544	-0.0248693	-0.35453
Nitritos N-NO ₂ (mg/L)	0.02913	0.724682	0.0353778
Amonio N-NH ₄ (mg/L)	-0.02664	0.279183	0.657764
Alcalinidad a la fenofaleína Alc (fenof-mg/L)	-0.30149	0.140952	-0.012417
Dureza total Dt (mg/L)	-0.97209	-0.106322	-0.03616

REFERENCIAS

- CORREA, P. G. 2003. *Atlas geográfico de Michoacán*. Secretaría de Educación Pública en Michoacán y Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. México. 308 p.
- COX, E. J. 1996. *Identification of freshwater diatoms from live material*. Chapman & Hall. Oxford. 158 p. DOI: 10.1017/S0967026296221006
- DE LEÓN, L. 2002. Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. In: Domínguez, A. & R. G. Prieto (Eds.). *Perfil Ambiental del Uruguay 2002*. Nordan-Comunidad, Montevideo.
- DERE, S., N. DALKIRON, D. KARACAĞLU, A. ELMACI, B. DÜLGER & E. SENTÜRK. 2006. Relationship among epipellic diatom taxa, bacterial abundances and water quality in a highly polluted stream catchment, Bursa-Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 112: 1-22. DOI: 10.1007/s10661-006-0213-7
- DÍAZ, R. J. 2013. *El Consejo de Cuenca Lerma Chapala, un análisis de la participación de los grupos de interés en la toma de decisiones*. Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Morelia, Mich. pp. 25-33. Disponible en línea en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf (consultado el 20 de octubre 2014)
- DÍAZ, P. C. & N. I. MAIDANA. 2005. *Diatomeas de los salares. Atacama y Punta Negra. II Región Chile*. Centro de Ecología Aplicada. Minera Escondida Ltda. Santiago de Chile. 146 p.
- GAMBOA, M., R. REYES & J. ARRIVILLAGA. 2008. Macroinvertebrados como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* XLVIII (2): 109-120.
- GERMAIN, H. 1981. Flore des Diatomées, Diatomophycées, eux douces et saumâtres du Massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe occidentale. Soc. Nouv. des Éd. Boubée. 444 p.
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1). 9 p. Disponible en línea en: http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (consultado el 28 de octubre de 2014)
- HANSON, P., M. SPRINGER & A. RAMÍREZ. 2010. Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Biología Tropical* 58 (4): 3-37.
- ISERENTANT, R., L. ECTOR, F. STRAUB & D. U. HERNÁNDEZ-BECERRIL. 1999. Méthodes et techniques de préparation des échantillons de diatomées. *Cryptogamie Algologie* 20: 143-148.
- KELLY, M. G., A. CAZAUBON, E. CORING, A. DELL'UOMO, L. ECTOR, B. GOLDSMITH, H. GUASCH, J. HÜRLIMANN, A. JARLMAN, B. KAWECKA, J. KWANDRANS, R. LAUGASTE, E.-A. LINDSTRØM, M. LEITAO, P. MARVAN, J. PADISÁK, E. PIPP, J. PRYGIEL, E. ROTT, S. SABATER, H. VAN DAM & J. VIZINET. 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology* 10: 215-224. DOI: 10.1023/A:1008033201227
- KÖSTER, D & T. HÜBENER. 2001. Application of Diatom Indices in a Planted Ditch Constructed for Tertiary Sewage Treatment in Schwaan, Germany. *International Review of Hydrobiology* 86 (2): 241-252. DOI: 10.1002/1522-2632(200104)86:2<241::AID-IROH241>3.0.CO;2-H
- KRAMMER, K. 1997. Die cymbelloiden Diatomeen; Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. *Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis. Bibliotheca Diatomologica*. Band 37. J. Cramer. Berlin. 469 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1997 a. Bacillariophyceae 2/1. Teil : Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 876 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1997 b. Bacillariophyceae 2/2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 437 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 2004 a. Bacillariophyceae. 2/3. Teil : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 598 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 2004 b. Bacillariophyceae. 2/4. Teil : Achnantheaceae Kritische Ergänzungen zu *Achnanthes* s. l., *Navicula* s. str., *Gomphonema*. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 468 p.
- LANGE-BERTALOT, H. 2001. *Diatoms of Europe. Diatoms of the european inland waters and comparable habitats. Navicula sensu stricto; 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Vol. 2. Gantner Verlag. K. G. 526 p.
- LELAND, H. & S. D. PORTER. 2000. Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use. *Freshwater Biology* 44: 279-301. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2000.00536.x
- LÓPEZ-FUERTE, F. O. & D. A. SIQUEIROS-BELTRONES. 2011. Diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *CONABIO. Biodiversitas* 99: 8-11.
- MAGURRAN, A. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd, Blackwell Publishing. UK. 215 p.
- MCALLECE, N., J. D. G. GAGE, P. J. D., LAMSHEAD & G. L. J. PATERSON. 1997. BioDiversity Professional statistics analysis software. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London. Disponible en línea en: <http://www.sams.ac.uk/peter-lamont/biodiversity-pro#sthash.KpGHNtm1.dpuf> (Consultado el 20 de noviembre de 2014).
- MARTÍNEZ DE FABRICIUS, A., N. MAIDANA, N. GÓMEZ & S. SABATER. 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation* 12: 2443-2454. DOI: 10.1023/A:1025857715437
- MESTRE, R., J. 2014. El Programa Nacional Hídrico 2013-2018. *H₂O Gestión del Agua* 2: 26 - 32. Disponible en línea en: <http://issuu.com/>

- helios_comunicacion/docs/h2o_-_2 (consultado el 25 de octubre de 2014)
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 2002. *Diatoms from the "Island Continent" Madagascar*. Gantner Verlag K. G. Germany. 286 p.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 1998. *Tropical Diatoms of South America I; about 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora*. Iconographia Diatomologica. Vol. 5. Koeltz Scientific Books. 695 p.
- METZELTIN, D., H. LANGE-BERTALOT & F. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2005. Diatoms of Uruguay; taxonomy-biogeography-diversity. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 15. Gantner Verlag, K. G. Germany. 736 p.
- NDIRITU, G. G., N. N. GICHUKI & L. TRIEST. 2006. Distribution of epilithic diatoms in response to environmental conditions in an urban tropical stream, Central Kenya. *Biodiversity and conservation* 15: 3267-3293. DOI: 10.1007/s10531-005-0600-3
- NOVELO, E., R. TAVERA & C. IBARRA. 2007. Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico. *Bibliotheca Diatomologica*. Band 54. J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin. Stuttgart. 136 p.
- NOVELO-MALDONADO, E. 1998. Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias; División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 599 p.
- PEDRAZA-GARZÓN, E. & J. DONATO-RONDÓN. 2011. Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los Andes Colombianos. *Caldasia* 33 (1): 177-191.
- PENALTA-RODRÍGUEZ, M. & LÓPEZ-RODRÍGUEZ, M. 2007. Diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central Gallego (Ourense, N.O. España) mediante la aplicación de índices diatomológicos. *Limnetica* 26 (2): 351-358.
- POTAPOVA, M. G. & D. F. CHARLES. 2002. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography* 29 (2): 167-187. DOI: 10.1046/j.1365-2699.2002.00668.x
- PRYGIEL, J. & M. COSTE. 2000. Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. Agences de l'Eau-Cemagref-Groupement de Bordeaux. Agences de l'Eau.
- REID, G. & R. WOOD. 1976. Ecology of inland waters and estuaries. D. Van Nostrand Co. USA. 485 p.
- SALOMONI, S. E., O. ROCHA, V. L. CALLEGARO & E. A. LOBO. 2006. Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravataí river, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia* 559: 233-246. DOI: 10.1007/s10750-005-9012-3
- SEGURA-GARCÍA, V. 2011. Taxonomía y ecología de las diatomeas epilíticas de la cuenca del Alto Lerma, México. Tesis de Doctorado en Ciencias (Limnología), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 149 p.
- SEGURA-GARCÍA V., E. A. CANTORAL-URIZA, I. ISRADE & N. MAIDANA. 2012. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. *Hidrobiológica* 22 (1): 16-27.
- SOININEN, J., R. PAAVOLA & T. MUOKTA. 2004. Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental and spatial gradients. *Ecography* 27: 330-342. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2004.03749.x
- SZCZEPÓCKA, E. & B. SZULC. 2006. Benthic diatoms in the central section of the Pilica river and Sulejów reservoir. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology XXXV* (2): 171-178.
- TANG, T., Q. CAI, & J. LIU. 2006. Using epilithic diatom communities to assess ecological condition of Xiangxi river system. *Environmental Monitoring and Assessment* 112: 347-361. DOI: 10.1007/s10661-006-7666-6
- VALDÉZ, B., M. SCHORR, M. CARRILLO, R. ZLATEV, G. MONTERO, H. CAMPBELL, J. OCAMPO, N. ROSAS & L. VARGAS. 2013. Corrosión en la Industria geotermoelectrica. Pp: 49-68. In: Valdéz, B & W. Schorr (Eds.). *Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*. Barcelona, España. *OmniaScience*. DOI: 10.3926/oms.36
- VAN DAM, H., A. MERTENS & J. SINKELDAM. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28 (1): 117-133. DOI: 10.1007/BF02334251
- WALKER, C. & Y. PAN. 2006. Using diatom assemblages to assess urban stream conditions. *Hydrobiologia* 561: 179-189. DOI: 10.1007/1-4020-5070-4_13
- WEILHOEFER, C. & Y. PAN. 2006. Diatom assemblages and their associations with environmental variables in Oregon Coast Range streams, USA. *Hydrobiologia* 561: 207-219. DOI: 10.1007/s10750-005-1615-1
- WETZEL, R. 2001. *Limnology*. Saunders College Publishing. USA. 767 p.
- ZAMPELLA, R. A., K. J. LAIDIG & R. L. LOWE. 2007. Distribution of diatoms in relation to land use and pH in blackwater coastal plain streams. *Environmental Management* 39: 369-384. DOI: 10.1007/s00267-006-0041-0
- ZAR, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey, USA. 944 p.
- ZUBIETA-ROJAS, T., C. E. CRIOLLO ARÉVALO, C. ORTIZ PANIAGUA & J. ESPINO ESPINO. 2010. Componente socioeconómico, demográfico y sectorial. In: Villaseñor-Gómez, L. E. (Ed.). *Informe final del ordenamiento ecológico territorial del municipio de Zinapécuaro, Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán. pp. 176-209.

Recibido: 12 de marzo de 2015.

Aceptado: 20 de junio de 2016.