

# El perifiton de la subcuenca del río Cupatitzio, Michoacán, México

Ortega-Murillo M. R., Aguilar-Gómez M. E., Hernández-Morales R. y Díaz-Martínez N.T.

Laboratorio de Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz". Facultad de Biología, UMSNH.

## Resumen

En el presente trabajo se analizaron 121 muestras del perifiton, obtenidas por el raspado de un área de 25 cm<sup>2</sup>, en cinco sustratos (epifítico, epilítico, epixilótico, plástico y unicel), en tres épocas climáticas. El material obtenido se almacenó en frascos de plástico, el cual fue fijado con formol al 4%, depositado en el Herbario Ficológico de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paralelo al muestreo se registraron quince variables ambientales. Los resultados indican aguas oxigenadas, con dominancia de bicarbonatos, moderadamente mineralizadas, de baja dureza, altas concentraciones de fósforo total y nitrógeno como amonio. La variación de la fisicoquímica del agua en un gradiente altitudinal no presenta diferencias estadísticamente significativas, contrario a la fluctuación temporal. El perifiton, estuvo compuesto por 180 especies que pertenecen a once clases, de las cuales Bacillariophyceae encabezó la riqueza específica y abundancia. El sustrato con mayor colonización fue el lítico. Las especies más abundantes fueron *Nitzschia linearis*, *N. nana* y *Navicula cryptocephala*, indicadoras de ambientes eutróficos, donde la mineralización de la materia orgánica es incompleta. Se delimita un gradiente altitudinal con respecto a la diversidad alfa; los sitios con mayor similitud corresponden al Parque Nacional y Paso de la Muerte. Se concluye que las zonas conservada y perturbada urbana presentan indicios de contaminación orgánica e inorgánica, mientras que los puntos de muestreo de la zona perturbada rural exhiben contaminación inorgánica, condiciones que modifican la estructura de la comunidad perifítica.

**Palabras claves:** perifiton, diatomeas, río, Cupatitzio, eutrófico.

## Abstract

In this study 121 samples of periphyton were analyzed, obtained by scraping from an area of 25 cm<sup>2</sup> on five substrates (rock, plants, wood, plastic and styrofoam) in three climatic periods. The phycological material, was deposited in plastics bottles, fixed with formaldehyde at 4%, deposited in the Phycological Herbarium of the Faculty of Biology of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Fifteen environmental variables were recorded. The results indicate oxygenated waters, with bicarbonates dominance, moderately mineralized, low hardness, high total phosphorous and nitrogen as ammonia. The physical and chemistry variation of in an altitudinal gradient, show no statistically significant differences, contrary to the temporal fluctuation. The periphyton was composed of 180 species belonging to eleven classes, with Bacillariophyceae heading the species richness and abundance. The lytic substrate was the most colonized. The most abundant species were *Nitzschia linearis*, *Nitzschia nana* and *Navicula cryptocephala*, indicators of eutrophic environments, where mineralization of organic matter is incomplete. An altitudinal gradient with respect to alpha diversity was defined; sites with higher similarity correspond to National Park and The Death Pass. We conclude that conserved and urban disturbed zones, shows signs of organic and inorganic pollution, while the rural disturbed zone presents inorganic pollution, conditions that modify the structure of the periphytic community.

**Keywords:** periphyton, diatom, river, Cupatitzio, eutrophic.

## Introducción

El perifiton es un gremio integrado por una diversa microbiota (principalmente de algas), que se encuentra adherida a diversos sustratos, que pueden ser epifíticos; (habitan sobre las plantas y sus raíces), epixilóticos (se localizan sobre madera), epilíticos (adheridos a rocas), epizóicos (los que viven sobre animales), así como los denominados sustratos artificiales (plástico, unicel, vidrio, metal entre otros), que agrupan a los materiales fabricados por el hombre (Darley 1987, Mochini 1988, Wetzel 2001, Montoya y Ramírez 2007). La importancia de dicho gremio, en general se atribuye a que en algunos ecosistemas riparios sostiene la productividad primaria, debido a que el fitoplancton es escaso, como se ha documentado en varios sistemas lóticos de Argentina los ríos Piedra y Cuarto; así como en Colombia los ríos Bogotá y Medellín (Luque y Martínez de Fabricius 2003, Arcos-Pulido y Gómez Prieto 2006, Montoya y Ramírez 2007, Luque y Martínez de Fabricius 2010). Esta cualidad está asociada a que dicho gremio produce metabolitos orgánicos, los cuales son indispensables como alimento para los niveles tróficos superiores.

Aunado a lo anterior ésta comunidad permite el desarrollo de un hábitat para otros organismos, en especial para macro y microinvertebrados, así como para diversos estadíos larvarios de peces (Mochini 1988 y Cortes *et al.* 2013). Por su sensibilidad a las fluctuaciones del medio acuático, el perifiton ha sido utilizado como bioindicador de ecosistemas lóticos y lénticos (Mochini 1988, De Fabricius 2000 y Cortes *et al.* 2013), tal es el caso del monitoreo de la calidad del agua de la cuenca del río Lerma, en donde se utilizó al grupo de microalgas epilíticas para estimar el grado de contaminación del sistema ripario (Segura *et al.* 2011), así como diversas evaluaciones ecológicas en donde la microflora adherida es la herramienta fundamental para determinar la calidad ecológica (Almeida 2001, Salomoni y Torgan 2008, Castro 2009 y Lobo *et al.* 2014).

La Subcuenca del Río Cupatitzio se encuentra dentro de la región hidrológica del río Balsas (RH 18) y forma parte de la cuenca del río Tepalcatepec-Infiernillo, en donde se han desviado los cauces para la construcción de presas con la finalidad de aprovechar el agua de los embalses para el riego y el uso pecuario, así como para la generación de energía eléctrica, sobre todo en las partes media y baja de la cuenca, transformando a la red hidráulica de la cuenca en grandes presas (Antaramián 2003). En particular ésta cuenca no presenta caracterizaciones ficológicas,

✉ **Autor de correspondencia:** Manantiales de Sindurio # 141. Inf. Los Manantiales, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58183. email: rosaormu@yahoo.com

por lo cual la presente investigación determina la variación espacial y temporal de la microflora adherida, además de generar un listado taxonómico de los ejemplares colectados, para contribuir con ello al conocimiento de la biodiversidad de la cuenca del río Cupatitzio.

### Área de estudio

La subcuenca del río Cupatitzio (**Fig. 1**) se localiza en la pendiente sur de la Sierra de Uruapan abarcando los municipios de Uruapan, Gabriel Zamora, Lombardía y Nueva Italia, ubicada geográficamente entre las coordenadas extremas 19° 25' 01.97" N y 102° 03' 01.30" W (CNA 2009).

Los sitios de muestreo se localizan en la provincia fisiográfica denominada Arco Neovolcánico Transmexicano, en la subprovincia Tarasca, abarcando una superficie total de 2 659.03 km<sup>2</sup>

(INEGI 1985 y CNA 2009). Esta zona está compuesta por basaltos piroclásticos, así como aportes recientes de materiales volcánicos depositados por las erupciones del volcán Parícutín. Los suelos que predominan son de tipo Andosol, de textura media, además se encuentran los de tipo Litosol y Regosol con textura gruesa (Demant 1976 y Gómez-Tagle 1985). El clima comprende del Templado subhúmedo al Semicálido (García 1981 e INEGI 1985).

El área de estudio se localiza en la región hidrológica del Río Balsas (RH 18), en la cuenca de Tepalcatepec-Infiernillo. La vegetación corresponde al Bosque de coníferas, mientras que la vegetación riparia integra elementos florísticos de bosque de pino-encino, mesófilo de montaña y de galería, muy perturbados por la introducción de plantas exóticas (Rzedowski 1978).

### Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó durante el 2009 al 2010. Se muestrearon nueve sitios (**Tabla 1**), tres en la parte alta (Parque Nacional, Río Santa Bárbara y presa Caltzontzin), cuatro en la parte media (presa Zupimito presa Cupatitzio, La Tzararacua, presa de Charapendo o Jicalán) y dos en la parte baja (presa Barranca Honda o Tequecaran y la sección baja del río Cupatitzio denominada el Paso de la Muerte).

En cada sitio de colecta se registraron las siguientes variables ambientales: temperatura del agua y del aire (°C) con un termómetro de mercurio; la transparencia (m) y la profundidad (m) con un disco de secchi y una sonda graduada en metros; el oxígeno disuelto (mg/L), por el método de Winkler modificado a la ázida de sodio; la conductividad eléctrica (µS/cm), los sólidos totales disueltos (mg/L), la salinidad (‰) y el pH, registrados con un conductímetro Conductronic modelo PC-18. Aunado a lo anterior se tomaron tres muestras de agua por sitio, con los siguientes volúmenes (300 mL, 100 mL y tres litros), para determinar las siguientes variables por triplicado: Alcalinidad parcial y total (mg/L), Fósforo Total (mg/L), Nitrógeno como amonio, nitritos y nitratos (mg/L), así como la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), con base en los métodos señalados por APHA (1992).

La colecta del material ficológico se efectuó raspando diferentes sustratos con un cepillo de cerdas suaves en dos formas: con un cuadrante de 5 x 5 cm, para el análisis cuantitativo y al obtener material ficológico para el análisis cualitativo al frotar el resto del sustrato, ambas muestras se colocaron por separado en frascos de 50 mL con los datos correspondientes, fijándose con formol al 4%. El material obtenido en dichos frascos se transportó al Herbario Ficológico del Laboratorio de Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para efectuar su respectivo análisis.

La determinación del material ficológico se realizó con un microscopio compuesto marca Leitz con los objetivos de 40 y 100 X, además literatura especializada: para diatomeas Patrick y Reimer (1966 y 1975); Krammer y Lange-

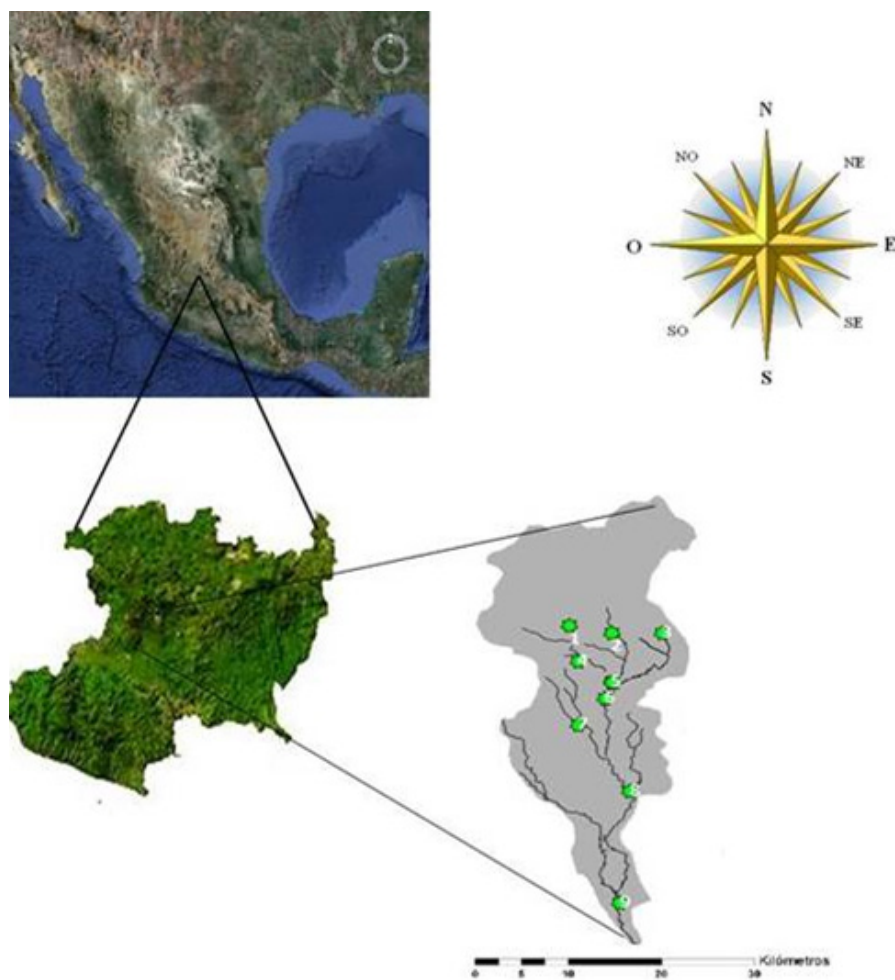


Figura 1. Localización del área de estudio y sitios de muestreos

Tabla 1. Características y coordenadas de los sitios de colecta

Número	Localidad	Coordenadas	Características
1	Parque Nacional (PN)	19° 25' 27.30" N 102° 04' 17.19" W	Área conservada de la cuenca alta, zona turística y de bajo impacto antrópico
2	Río Santa Bárbara (RSB)	19° 24' 40.35" N 102° 01' 00.26" W	Cuenca alta, sitio impactado, abarca la zona urbana
3	Presa Caltzontzin (PCA)	19° 25' 14.56" N 102° 01' 04.99" W	Cuenca alta, sitio impactado, localizado en la zona urbana.
4	Presa Zumpimito (ZU)	19° 22' 00.47" N 102° 05' 23.49" W	Cuenca media. Bosque de pino-encino con tierra, de cultivo de temporal. Corresponde a la CFE.
5	Presa Cupatitzio (PCU)	19° 25' 14.56" N 102° 01' 04.99" W	Cuenca media. Bosque de pino con cultivos temporales.
6	Tzararacua (ZA)	19° 20' 59.03" N 102° 04' 56.85" W	Cuenca media. Bosque de pino-encino y cultivo de aguacate
7	Charapendo o Jicalán (CH)	19° 18' 16.15" N 102° 04' 42.65" W	Cuenca media. Bosque de pino-encino con tierras de cultivo de temporal.
8	Barranca Honda o Tequecaran (BH)	19° 13' 24" N 102° 03' 27" W	Parte baja de la Cuenca, Río Cupatitzio, Bosque Cauducifolio, con cultivos de riego en las partes altas.
9	Paso de la Muerte (PDM)	19° 05' 52.11" N 102° 04' 10.77" W	Cuenca baja, límite de los Ríos Cupatitzio y Márquez, bosque caducifolio con cultivos de riego.

Bertalot (1986, 1988, 1991a y 1991b), Krammer (2000 y 2002), al considerar los siguientes caracteres: tipo morfológico, forma y variación del frústulo, así como la ornamentación externa (estrías, espinas, areolas, estigma, rafe, nódulos, proyecciones, cuernos, costillas, surcos, entre otros); algas verdes Prescott y Vinyard (1982), Dillard (1990); Comas (1996), al distinguir el tipo morfológico, el grado de distinción del mucílago cenobial, estructuras de locomoción (flagelos), estructuras de reproducción (en filamentos), ornamentación externa (puentes, espinas, estrías, verrugas, dientes, brazos) y la estructura interna (tipos de plasto, pirenoides y núcleos); euglenofíceas Conforti (1986), destacando el tipo morfológico, la locomoción (flagelos), la estructura externa (verrugas, espinas, costillas, estrías, dientes, entre otros), y la composición interna (plastos y gránulos de reserva); algas azul verde Komárek y Anagnostidis (2001 y 2002), en donde se consideró el tipo morfológico y estructuras taxonómicas relevantes (heterocito, acineto, mucílago, presencia, número y posición de las vesículas de gas) así como

la forma de la colonia y perforaciones de la colonia entre otras características; mientras que para el resto de los grupos (dinoflagelados, crisofíceas, y xantofíceas) se consultó a John *et al.* (2003), el cual considera al tipo morfológico, estructuras externas (surcos, placas, forma de lóricas, pliegues, verrugas, estrías, poros), tipo de reproductores (anteridio y oogonio en xantofíceas) y capacidad motora (flagelos o formas ameboides).

Para la estimación del tamaño mínimo de muestra se utilizó la curva de acumulación de especies propuesta por Braun Blanquet (1979), método por el cual se analizó un conjunto de 18 gotas por muestra obtenida. Mientras que la cuantificación, se efectuó por medio de cubetas de sedimentación, con base en la técnica de Utermöhl (1958). Los resultados se obtuvieron en org/cm<sup>2</sup>.

En el análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos, se utilizó estadística inferencial no paramétrica, con la prueba de Wilcoxon Krustal Wallis, en un análisis de ANOVA de una vía, para distinguir diferencias significativas entre los sitios de colecta. Las variables

independientes que se consideraron en el análisis, corresponden al grado de conservación visual del sitio, en las categorías de: zona conservada, zona perturbada-urbana y zona perturbada-rural. Mientras que para el análisis estadístico del componente biológico se efectuó el mismo análisis, con las variables independientes anotadas a las diferentes clases taxonómicas. Aunado a lo anterior se efectuó un análisis de similitud entre sitios, para distinguir afinidades florísticas dentro de la subcuenca del Cupatitzio, a través de distancias euclidianas. Dichas pruebas y análisis se realizaron con el programa JMP versión 6.0 (SAS Institute, 2005).

## Resultados

### Caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica indica que los sitios de muestreo de la subcuenca del río Cupatitzio, presentan aguas cálidas, de baja salinidad, bien oxigenadas, neutras, con baja reserva alcalina. La composición iónica exhibe una moderada mineralización, con dominancia de bicarbonatos, los cuales en lluvias se conforman por Calcio y en secas por Magnesio. Con respecto a los nutrimentos, se determina una limitación por nitrógeno, ya que la concentración de fósforo, muestra que el ión se encuentra biodisponible en todo el periodo de muestreo. Las formas de nitrógeno en orden de concentración son amonio, nitratos y nitritos, encontrándose éste último de forma ocasional. La carga orgánica evidencia que el agua presenta condiciones saprobias de baja a moderadas, lo cual permite distinguir periodos en donde la mineralización de la materia orgánica es completa (Tabla 2).

La variación de los parámetros fisicoquímicos en el periodo de estudio muestra que el sitio de la zona catalogada como conservada presenta indicios de contaminación, ya que alberga una concentración de materia orgánica mayor al resto de la red hidrológica de la subcuenca, además de contener una carga de fósforo elevada. Mientras que los sitios que se encuentran dentro de la zona perturbada urbana, muestran un deterioro en la calidad del agua, principalmente por el aumento de los nutrientes (fósforo, amonio, nitratos y nitritos), aunado al

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de la subcuenca del río Cupatitzio

VARIABLE	ZONA CONSERVADA			ZONA PERTURBADA URBANA			ZONA PERTURBADA RURAL		
	PROMEDIO	D. E.	n	PROMEDIO	D. E.	n	PROMEDIO	D. E.	n
TEM	19.50	2.12	9	18.54	1.78	27	20.41	2.05	39
OD	5.25	1.05	9	5.32	1.48	27	6.26	2.10	39
CE	125.50	0.71	9	184.30	63.58	27	185.24	63.30	39
SDT	57.50	3.54	9	88.13	30.70	27	88.95	30.90	39
SAL	0.10	0.00	9	0.09	0.04	27	0.08	0.04	39
pH	6.50	0.00	9	6.86	0.24	27	6.81	0.25	39
AT	34.00	2.83	9	43.14	14.68	27	43.23	17.68	39
AP	17.50	17.68	9	8.79	15.61	27	11.12	16.88	39
CO <sub>3</sub>	9.00	1.41	9	12.89	22.12	27	15.77	21.25	39
HCO <sub>3</sub>	28.00	4.24	9	40.93	25.60	27	46.54	28.99	39
DT	65.50	0.71	9	75.00	28.76	27	79.08	23.40	39
DC	42.50	3.54	9	36.57	14.16	27	44.69	14.39	39
DM	23.00	2.83	9	38.43	17.54	27	34.38	16.57	39
PO <sub>4</sub>	2.50	0.71	9	2.79	4.18	27	1.22	1.04	39
NH <sub>4</sub>	0.20	0.14	9	1.27	0.99	27	0.57	0.63	39
NO <sub>3</sub>	0.00	0.00	9	1.73	1.59	27	1.16	1.51	39
NO <sub>2</sub>	0.00	0.00	9	0.06	0.05	27	0.05	0.05	39
DBO <sub>5</sub>	5.40	2.69	9	5.28	2.04	27	3.35	2.38	39

TEMP: Temperatura del agua (°C), OD: Oxígeno disuelto (mg/L), CE: Conductividad eléctrica (µS/cm), SDT: Sólidos Disueltos Totales (mg/L), SAL: Salinidad (‰), pH: Potencial de Hidrógeno, AT: Alcalinidad Total (mg/L), AP: Alcalinidad parcial (mg/L), CO<sub>3</sub>: Carbonatos (mg/L), HCO<sub>3</sub>: Bicarbonatos (mg/L), DT: Dureza total (mg/L), DC: Dureza de calcio (mg/L), DM: Dureza de magnesio (mg/L), PO<sub>4</sub>: Fosforo total (mg/L), NH<sub>4</sub>: Amonio (mg/L), NO<sub>3</sub>: Nitratos (mg/L), NO<sub>2</sub>: Nitritos, DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), D.E: Desviación estándar y n: Numero de muestras.

incremento de la dureza, la alcalinidad y la carga iónica. Parámetros que decrecen en los sitios de la zona perturbada rural (Tabla 2), fluctuaciones que permiten localizar puntos de contaminación puntual y difusa, aunque sin diferencias estadísticamente significativas (Tabla 3).

Aunque en un gradiente de altitud no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, se establece que temporalmente es marcada la variabilidad de los parámetros determinados, debido a que una prueba *post hoc*, indica que la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, la salinidad, el pH, la alcalinidad parcial, los carbonatos, nitratos y nitritos, presentan concentraciones estadísticamente diferentes entre secas y lluvias (Tabla 3).

**Microflora adherida**

Con respecto a la comunidad autótrofa del perifiton, se establece que en la Subcuenca del río Cupatitzio está compuesta por 180

especies, 15 variedades y una forma, las cuales pertenecen a 80 géneros y 11 clases. Este microflora, exhibe a Bacillariophyceae como la jerarquía taxonómica con la mayor riqueza específica, mientras que las categorías que aportan valores mínimos en éste parámetro son Cryptophyceae y Xantophyceae, tal y como se aprecia en la figura 2.

Cabe destacar que entre las clases existe diferencias significativas, debido a que Bacillariophyceae presenta una riqueza taxonómica estadísticamente diferente al resto de los gremios, además de que el número de especies aportado por Cyanophyceae presenta diferencias estadísticas con Cryptophyceae, Xantophyceae, Trebouxiophyceae, Ulvophyceae y Euglenaceae ( $\chi^2= 62.1$ ; *g.l.* = 10;  $P < 0001$ ), jerarquías con pocas especies en la Subcuenca del Río Cupatitzio.

La diversidad alfa de la comunidad del perifiton, en el gradiente altitudinal presente en la subcuenca del río Cupatitzio,

indica que existen diferencias significativas entre los sitios analizados ( $\chi^2=17.8$ , *g.l.*=8,  $P<0.02$ ), ya que la presa Cupatitzio, el Parque Nacional y la parte baja del Cupatitzio denominada Barranca Honda, presentan un valor mayor en diversidad al determinado en la Tzararacua, la cual se cataloga como el sitio menos diverso en toda la red fluvioacustre (Fig. 3).

En cuanto a la densidad celular de este grupo autótrofo, cabe mencionar que el gremio con mayor abundancia corresponde a Bacillariophyceae en el sustrato lítico, precedida de Cyanophyceae, Fragilariophyceae y Chlorophyceae. Mientras que los grupos que aportan el menor número de individuos corresponde a Cryptophyceae, Euglenophyceae, Trebouxiophyceae, Ulvophyceae y Xantophyceae. Es de resaltar que esta variable cuantitativa de la comunidad, presenta diferencias significativas entre las clases anteriormente citadas, ya que Bacillariophyceae registra una concentración celular estadísticamente diferente al resto de las clases ( $\chi^2=64.2$ ; *g.l.*=10;  $P<0.0001$ ), posicionándose como el taxa con mayor éxito ecológico.

No se encontraron diferencias estadísticas entre los sitios de estudio en la densidad celular de la comunidad del perifiton autótrofo ( $\chi^2=12.3$ ; *g.l.*=8,  $P=0.1$ ).

De las 180 especies determinadas 130 presentan valores por debajo del 9% en densidad relativa, mientras que 14 son las más recurrentes, las cuales son de mayor éxito reproductivo y colonizan en altas densidades a los diversos sustratos presentes en los sistemas acuáticos de la Subcuenca del río Cupatitzio durante el periodo de muestreo. Entre las cuales destacan: *Nitzschia linearis* (9.8%), *Nitzschia nana* (9.4%), *Navicula cryptocephala* (5.8%), *Fragilaria nitzschioides* (4.9%), *Navicula elginensis* (4.6%), *Phormidium luridum* (4.4%), *Merismopedia punctata* (4.1%), *Achnanthes levanderi* (2.8%), *Chroococcus minus* (2.7%), *Fragilaria lapponica* (2.6%), *Cocconeis placentula* (2.5%), *Gomphonema pseudoaugur* (2.1%), *Gomphonema augur* (2.0%) y *Lyngbya lagerheinii* (2.0%), representantes de las divisiones algales Heterokontophyta y Cyanophyta.

Los sitios que muestran mayor similitud en cuanto a la composición específica son el Parque Nacional, ubicado en la parte alta de la subcuenca y Paso de

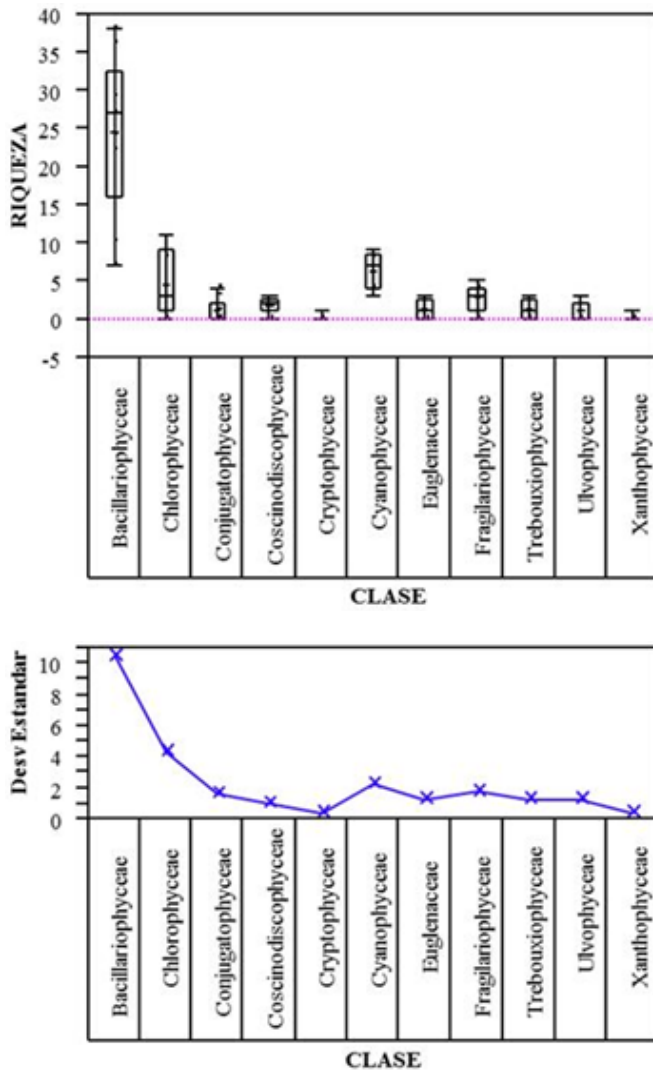


Figura 2. Riqueza taxonómica de la microflora adherida

la Muerte, ubicado al final de la Subcuenca del río Cupatitzio. Estos comparten 41 especies, destacando: *Anabaena verrucosa*, *Merismopedia punctata*, *Achnanthes levanderi*, *Achnantheidium minutissimum*, *Ankistrodesmus fusiformis*, *Scenedesmus falcatus*, y *Closterium acicalare*; siendo *Fragilaria nitzschiodes* la especie que ocupa la mayor densidad (Fig. 4).

El segundo grupo con mayor similitud en base a la composición de la comunidad del perifiton autótrofo es el integrado por la Presa Caltzontzin, Tzararacua y Canal Zupimito, los cuales están relacionados por el sistema de drenaje de la cuenca, ya que el Canal Zupimito y la Presa Caltzontzin le vierten aguas a la Tzararacua, permitiendo la concurrencia de *Chroococcus minus*, *Lyngbya lagerheimii* y *Phormidium luridum*, siendo esta última la más abundante. Dichos sitios comparten una especie con Barranca Honda (*Chroococcus minus*). Mientras que la relación con los demás sitios de la subcuenca tiene lugar por la concurrencia de *Chroococcus minus* y *Phormidium luridum*, siendo ésta última su mejor representante (Fig. 4).

El tercer grupo lo integran tres sitios: la Presa Jicalán, río Santa Bárbara y La Presa de Cupatitzio, destacando que la Presa Jicalán y río Santa Bárbara presentan mayor similitud por la presencia de 25

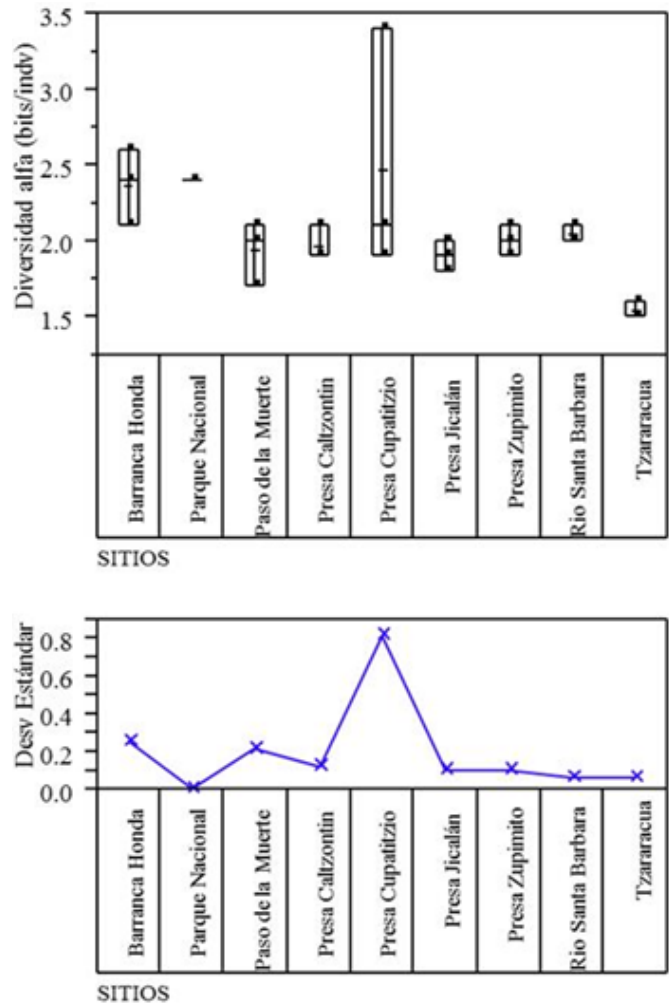


Figura 3. Diversidad alfa de la microflora adherida

especies, donde destaca *Merismopedia punctata*, *Chroococcus minus*, *Achnantheidium exiguum*, *Cocconeis placentula*, y *Scenedesmus communis*; con *Nitzschia linearis* como más abundante. Como cuarto grupo se encuentra La Presa Cupatitzio que presenta 21 especies con la Presa Jicalán y el río Santa Bárbara, de las cuales se encuentran: *Merismopedia punctata*, *Chroococcus minus*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella aspera*, y *Oedogonium* sp.; con *Nitzschia linearis* como especie con mayor densidad (Fig. 4).

La preferencia por la colonización de sustrato fue similar entre los sitios de colecta, la cual fluctúa por la presencia de éstos dentro del medio acuático, por lo cual se establece que la comunidad autótrofa del perifiton tiene una marcada preferencia por el hábitat lítico, ya que presenta una frecuencia en colonización del 28%, seguido de la vegetación acuática con 25%, el epifitismo de macroalgas (20%), la colonización de plástico (18%) y madera (9%).

### Discusión

Vannote y colaboradores (1980), definen a los ríos como sistemas lóticos con un flujo de la corriente unidireccional de agua dentro de un canal, que va describiendo el gradiente de condiciones físico y químicas (considerando la energía) y las respuestas bióticas a dichos cambios que ocurren desde la cabecera hasta la

Tabla 3. Análisis no paramétrico de Wilcoxon / Krustal Wallis

Variable	Análisis no paramétrico por zonas de conservación			Análisis no paramétrico por secas-lluvias		
	x <sup>2</sup>	g.l.	p>x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	g.d.l.	P <sup>2</sup>
TEMP	3.5892	2	0.1662	3.4176	2	0.1811
OD	2.1402	2	0.343	5.64	2	0.0594
CE	1.8827	2	0.3901	7.0825	2	0.029
TDS	2.2091	2	0.3314	7.0779	2	0.029
SAL	0.336	2	0.8453	8.333	2	0.0155
pH	3.2091	2	0.201	10.3526	2	0.0056
AT	1.2633	2	0.5317	0.8465	2	0.6549
AP	1.6896	2	0.4296	8.4696	2	0.0145
CO3	0.5759	2	0.7498	7.7966	2	0.0203
HCO	1.2591	2	0.5328	1.1445	2	0.5643
DT	1.2094	2	0.5462	3.6035	2	0.165
DC	0.9763	2	0.6138	6.7007	2	0.0351
DM	2.0411	2	0.3604	5.1523	2	0.0761
FT	2.4908	2	0.2878	1.1642	2	0.5587
NH4	3.8697	2	0.1444	6.4252	2	0.0403
NO3	2.9075	2	0.2337	11.2037	2	0.0037
NO2	1.9615	2	0.375	11.5152	2	0.0032
DBO5	3.823	2	0.1479	6.5753	2	0.0373

TEMP: Temperatura del agua (°C), OD: Oxígeno disuelto (mg/L), CE: Conductividad eléctrica (µS/cm), SDT: Sólidos Disueltos Totales (mg/L), SAL: Salinidad (‰), pH: Potencial de Hidrógeno, AT: Alcalinidad Total (mg/L), AP: Alcalinidad parcial (mg/L), CO<sub>3</sub>: Carbonatos (mg/L), HCO<sub>3</sub>: Bicarbonatos (mg/L), DT: Dureza total (mg/L), DC: Dureza de calcio (mg/L), DM: Dureza de magnesio (mg/L), PO<sub>4</sub>: Fosforo total (mg/L), NH<sub>4</sub>: Amonio (mg/L), NO<sub>3</sub>: Nitratos (mg/L), NO<sub>2</sub>: Nitritos, DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), x<sup>2</sup>: Ji cuadrada, g.d.l: Grados de libertad y p: Probabilidad.

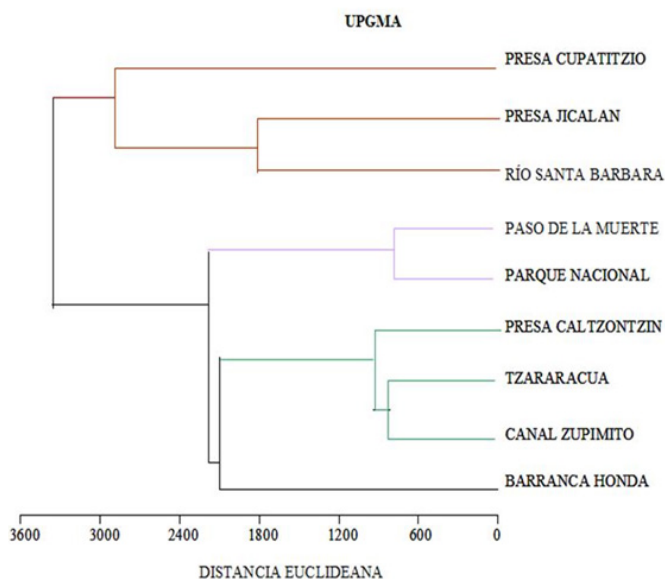


Figura 4. Afinidad de la microflora adherida en la Subcuenca del río Cupatitzio

parte baja. Sin embargo, Scarsbook y Townsend (1993) indican que dicho sistema acuático puede poseer una heterogeneidad espacial y temporal, ocasionando la presencia de un gran número de microambientes susceptibles de ser colonizados por los organismos, sin embargo la interacción de las variables espaciales y temporales en los ríos ejercen una fuerte influencia sobre la distribución de los organismos.

Bunn y Arthington (2000) mencionan que los ríos están afectados por estresores como la incorporación puntual o difusa de nutrientes o de otros contaminantes y que el curso de un río puede ser modificado por la actividad antropogénica, debido a la creciente demanda de agua para los centros poblacionales, industriales, que han sobre-explotado los mantos acuíferos, al excesivo represamiento de sus aguas en diferentes áreas (CNA 2005), lo anteriormente expuesto sucede en el río Cupatitzio. El Parque Nacional Eduardo Ruiz, también conocido como Barranca del Cupatitzio, considerado como un sitio conservado exhibió los comienzos de contaminación por materia orgánica y con una gran carga de fósforo orgánico elevado, en dicho sitio se encuentra la rodilla del diablo (nacimiento del río), donde la calidad del agua es excelente, pero dicha calidad va disminuyendo hacia la salida del río (Pérez et al. 2006). Mientras que los sitios que se encuentran dentro de la zona perturbada urbana (Río Santa Bárbara, Presa Caltzontzin y Presa Zupimito), presentan un gran efecto de los impactos multidimensionales, ocasionados por la actividad antropogénica, y se refleja en los cambios ambientales en la calidad del agua. Cabe mencionar que evidentemente tales alteraciones no son iguales para los sitios localizados en la zona perturbada rural (Presa Cupatitzio, Tzararacua, Presa Jicalán, Barranca Honda y Paso de la Muerte), sitios que se localizan en la parte media y baja, los cuales son utilizados por el hombre como actividad turística (Tzararacua) o como represamiento para uso de sus aguas en los regadíos de la agricultura o bebedero (Presas Jicalán y Barranca Honda), donde las fluctuaciones de contaminación son puntuales y difusa.

Las variables fisicoquímicas del agua del río Cupatitzio, no mostraron diferencias estadísticamente significativas espacialmente, pero temporalmente existe una marcada variabilidad en la agrupación de algunos parámetros como la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, la salinidad, el pH, la alcalinidad parcial, los carbonatos, nitratos y nitritos. Avilés (2012), expone que la conductividad eléctrica, es elevada en lluvias en la Presa Zupimito y dicho incremento se le puede atribuir al aumento del material orgánico y sales disueltas que son arrastradas del suelo hacia los cauces del río por acción erosiva, disminuyendo hacia la presa de Jicalán, fenómeno asociado a la autodepuración biológica, física (precipitación y captura en el sedimento) y química (proceso de reducción y oxidación), ya que la reducción química puede favorecer la disminución de contaminantes.

Los sólidos totales disueltos presentaron una relación positiva con la conductividad eléctrica, con el valor alto en la presa Zupimito en el periodo de lluvias por la incorporación de materiales diluidos y suspendidos que proceden de la erosión, aportando terrígenos como arcillas, materiales orgánicos e inorgánicos, mientras que la baja concentración de este parámetro se registró en Parque Nacional localizándose en el

manantial donde nace el río Cupatitzio y se localiza dentro de los sitios conservados. Para el periodo de secas el valor más alto ocurrió en Paso de la Muerte (parte baja de la cuenca), sitio que recibe aguas de Barranca Honda (con niveles menores de sólidos), contribución que permite estimar la presencia de alguna fuente no puntual de contaminación en este sector de la cuenca, ya que el agua eleva su contenido de partículas suspendidas considerablemente en este punto (Avilés 2012). Avilés (2012), menciona que la salinidad, en lluvias y secas fue homogénea en el sistema acuático, lo cual se asocia a los aportes por material erosionado proveniente del lavado de las rocas de la cuenca de drenaje, en la época de lluvias. Mientras que en el periodo de secas se refleja poca salinidad indicando que el fenómeno de evaporación y precipitación pluvial se encuentran en equilibrio para la subcuenca del río Cupatitzio.

En la época de secas se presentaron bajas concentraciones de nitratos, a excepción del río Santa Bárbara, mientras que en lluvias existen ligeros aumentos, indicando la presencia de detritos orgánicos que provienen de la acción antrópica, mismos que son oxidados para incrementar la concentración de esta forma del nitrógeno (Biasotti *et al.* 2013). Con respecto a los nitritos se determinaron bajas concentraciones, los cuales indican contaminación por aguas residuales o bien por desechos de vertebrados (Wetzel 1981). El amonio se encontró en bajas cantidades, lo cual exhibe una baja tasa de descomposición por actividad bacteriana (Conzonno 2009). El fósforo, es un nutrimento esencial para los organismos vivos, y su concentración permite delimitar el proceso de eutroficación de los cuerpos de agua (Margalef 1983), la cual fluctuó espacialmente dentro de la cuenca del río Cupatitzio, detectando la máxima carga en sitios con descargas domésticas y en sitios colindantes a parcelas agrícolas.

### **Microflora adherida**

El alto número de especies y los valores en densidad le correspondieron a Bacillariophyceae, debido a que dicha clase se desarrolla con éxito en el litoral de los sistemas acuáticos (Round *et al.* 1990). Cabe mencionar que dentro de este grupo, el mayor número de especies le perteneció al grupo de las Pennales birrafiadas, cuyas especies son consideradas reófilas, mientras que Coscinodicaeae y Fragilariophyceae, son características del plancton (Seeligman *et al.* 2001, Martínez de Fabricius *et al.* 2007, Luque *et al.* 2010), limitando su desarrollo un fuerte flujo fluvial (Darley 1987 y Round *et al.* 1990). Una de las características de los organismos pennados, es que se encuentran adheridos algún sustrato debido a que desarrollan algún mecanismo para el sostén o anclaje (Darley 1987), como la presencia de rizoides, pedúnculos gelatinosos, tubos delgados o vainas gelatinosas así como las secreciones mucilaginosas (*Nitzschia*, *Navicula*, y *Gomphonema*, entre otros).

Con respecto a la densidad de otros grupos algales como las Chlorophyceae y Cyanophyceae, cabe mencionar que su baja frecuencia está asociada al estado trófico de los sitios analizados, así como a las características fisicoquímicas ponderantes en el caudal, las cuales no permiten en desarrollo de mucílagos y estructuras de fijación de esta fracción de la microflora adherida, tal y como se ha reportado para otros sistemas acuáticos (Luque y

Martínez de Fabricius 2003).

La diversidad  $\alpha$ , es dependiente de la riqueza de taxa y la abundancia, cualquier proliferación muy rápida de una especie, no seguida por las otras, hace disminuir la diversidad (Margalef 1978). Por el contrario en un desarrollo normal de un ecosistema, sin perturbaciones, suelen acumularse especies con baja tasa de extinción, incrementando la diversidad (Margalef 1983). Uno de los factores que afectaron directamente a la diversidad dentro de la comunidad del perifiton fue la presencia de florecimientos algales, encabezados por Bacillariophyceae. Margalef (1983) menciona que los florecimientos algales de diatomeas ocurren en la presencia de materia orgánica, cabe mencionar que la elevada concentración de materia orgánica se debe a la descarga de aguas residuales de la ciudad de Uruapan y su zona conurbada.

La mayor densidad algal ocurrió en los sitios de la zona perturbada rural (Presa Cupatitzio, Presa Jicalán Barranca Honda y Paso de la Muerte), detectando que las diatomeas birrafiadas presenta valores altos. Dichos organismos son resistentes a los cambios en las condiciones ambientales, ya que sobreviven a la contaminación industrial, ácidos de minas, hidrocarburos y productos de refinería (Round *et al.* 2000), condiciones no puntuales tanto de la zona media (Presa Cupatitzio), como de la parte baja (Presa Jicalán, Barranca Honda y Paso de la Muerte). McCabe y Cyr (2006), sugieren que la variabilidad ambiental inducida por el cambio climático puede aumentar la diversidad debido a la disminución de competencia interespecífica, permitiendo la coexistencia de un gran número de especies, al incrementarse el número de nichos posibles de ser colonizados. En el caso del río Cupatitzio los tributarios, conllevan una gran cantidad de residuos sólidos (vidrio, plástico, uncel, madera, entre otros) factibles de colonizar por los organismos del perifiton y en especial por las diatomeas rafiadas (Round *et al.* 2000). Vanormelingen *et al.* (2008), mencionan que un cambio sostenido en el tiempo puede conducir a una pérdida de la diversidad y aumento en la densidad, debido a la homogeneización del ambiente, por lo cual se establece que los sitios fisicoquímicamente constantes como los embalses tienden a incrementar rápidamente la densidad algal, principalmente después de la temporada de lluvias, antes de que se inicie el desfogue para racionalizar el vital líquido.

Cabe mencionar que del total de especies analizadas, catorce son las que presentan valores altos en densidad y que dichos datos pueden depender de las condiciones ambientales y del éxito a la colonización que los organismos para poder reproducirse rápidamente (Schrwoerbel 1975). Las especies más abundantes corresponden a *Nitzschia linearis*, *N. nanna* y *Navicula cryptocephala*, organismos que presentan una amplia distribución y constantes en zonas donde las corrientes son rápidas, consideradas reofilas (Mc Intire 1968, Luque y Martínez de Fabricius 2003), con respecto a *Nitzschia linearis*, Round *et al.* (2000) mencionan que es una especie indicadora de contaminación por materia orgánica, detectándose en todos los sitios de colecta en el presente trabajo, pero con mayor densidad en la presa Zupimito, Presa Cupatitzio, Tzararacua y Presa Caltzontzin.

El análisis de similitud, muestra una clara separación en tres grupos, considerando a los factores ambientales, las

características hidrológicas y la actividad antropogénica (Bruno *et al.* 2003, Leandrini *et al.* 2008). La asociación con valores altos correspondió a un sitio río arriba (Parque Nacional) y un sitio río abajo (Paso de la muerte), ambos correspondientes a una porción del caudal principal del río Cupatitzio, con elevada afinidad geomorfológica, la cual es dominada por la presencia de ígneas extrusivas, baja densidad en vegetación acuática y un flujo continuo de agua, con un periodo de residencia corto, albergando una alta diversidad en microflora adherida. El segundo grupo alberga a sitios preferentemente lénticos o de flujo lento, (Presas de Caltzontzin, Zupimito Barranca Honda y la Tzararacua), el cual presenta una composición taxonómica relacionada con algas que desarrollan algún mecanismo de anclaje (Gari y Corigliano 2004). La última asociación corresponde a sitios que se localizan en la parte alta y media de la cuenca, con gran impacto antrópico, donde las especies presentes en su mayoría son diatomeas, los cuales se reportan como organismos cosmopolitas de las aguas continentales sudamericanas (Montoya 2000, Montoya y Ramírez 2007). Arco-Pulido y Gómez-Prieto (2006) mencionan que el perifiton se desarrolla mejor en sustratos que le ofrezcan estabilidad y donde la acción de la corriente sea mínima. En la subcuenca del río Cupatitzio este sustrato fue el lítico en sus diversas variantes (guijarros, rocas y cantos rodados), permitiendo el acoplamiento de varias especies, principalmente en zonas donde se impide la acumulación del sedimento (Darley 1987).

Wetzel (1983) propone que el perifiton, es una composición de microorganismos estratificados, que están metabólicamente acoplados a los constituyentes orgánicos e inorgánicos del sustrato, por lo que las variaciones entre las poblaciones ficoperifíticas pueden deberse al proceso de colonización, incluyendo el tiempo e incluso la existencia de gradientes espaciales. A nivel micro escala, esta comunidad actúa como una interface entre el sustrato y el agua, por lo que el estudio de la productividad perifítica deberá ser el paso siguiente dentro de la estrategia de conocimiento del ecosistema acuático, como una vía de estudio que nos permitirá aproximarnos al entendimiento de los flujos de energía en la cadena trófica del sistema.

## Conclusiones

El Parque Nacional Eduardo Ruiz (Barranca del Cupatitzio), considerado como un sitio conservado, exhibió contaminación por materia orgánica y fósforo. Mientras que los sitios que se encuentran dentro de la zona perturbada urbana (Río Santa Bárbara, Presa Caltzontzin y Presa Zupimito), presentan contaminación por sales inorgánicas (nitratos, nitritos, fosfatos), así como por sólidos disueltos y material orgánico. Los sitios de colecta pertenecientes a la zona perturbada rural (Presa Cupatitzio, Tzararacua, Presa Jicalán, Barranca Honda y Paso de la Muerte), presentan contaminación inorgánica, por formas de nitrógeno y fósforo.

Los valores altos de riqueza de taxa y densidad correspondieron a Bacillariophyceae (diatomeas). La diversidad  $\alpha$ , es dependiente de la riqueza de taxa y la abundancia, cualquier proliferación rápida de una especie, no seguida por las otras, hace disminuir la diversidad, mientras que un sistema sin perturbaciones, suele acumular especies con baja tasa de extinción decreciendo la diversidad. La mayor densidad ocurrió en los sitios de la zona

perturbada rural. Con respecto a la similitud se formaron tres grandes grupos, en donde se distinguen con base en la diversidad algal sitios con aguas fluyentes, aguas estancadas y ambientes ubicados en la zona con impacto rural.

## Agradecimientos

A la Coordinación de la Investigación Científica, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, y al Fondo Mixto de CONACyT-CECTI, por el soporte económico para la realización de la presente investigación. Además agradecemos al grupo de colaboradores; M.C. Reyna Alvarado Villanueva, Biól. Octavio Vázquez Jarquín, Biól. Nadia Talía Díaz Martínez y Biól. Marisol Martínez Martínez, por su invaluable apoyo en las actividades de campo y a la M.C. Reyna Alvarado Villanueva por los comentarios finales en la parte sistemática del escrito.

## Referencia

- APHA-AWWA-WPCF.** 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th. *Edition. American Public Health Association. Washington D.C.* 235 pp.
- Aguilar Gómez ME.** 2012. Caracterización de la comunidad de algas perifíticas en la subcuenca del río Cupatitzio, Michoacán, México. *Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. UMSNH.* 107 pp.
- Antaramián HE.** 2003. Geografía Física. *En Correa P.G. y F. Vargas T. (Comps). Atlas Geográfico del Estado de Michoacán. Segunda Edición Ed. Eddisa, México D.F.* 307 pp.
- Arco-Pulido M del P y Gómez Prieto AC.** 2006. Microalgas perifíticas como indicadoras del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C. *Colombia. Nova Publicación Científica. Vol. 4.* 60-79.
- Almeida SFP.** 2001. Use of diatoms for freshwater quality evaluation in Portugal. *Limnetica* 20(2): 205-213.
- Avilés VML.** 2012. Caracterización Físicoquímica y Biológica (Clorofila y Coliformes) de la Subcuenca del Río Cupatitzio, Michoacán México. *Facultad de Biología. UMSNH* 113 pp.
- Biasotti AE, Álvarez SB, Bazán GI, Martínez de Fabricius AL.** 2013. Biodiversidad y distribución temporal fitoplanctónica en río Colorado, la Pampa, Argentina. *Biológicas* 15 (1): 38-51.
- Braun-Blaquet J.** 1979. Fitosociología: Base para el estudio de las comunidades vegetales. *Ediciones H. Blume, España.* 820 pp.
- Bruno E, Martínez de Fabricius AL y Luque ME.** 2003. Fitoplancton en un tramo del Río Cuarto con influencia Antrópica. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 38: 1-13.
- Bunn S y Arthington A.** 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow régime for aquatic biodiversity. *Environmental Management.* 30(4):492-507.
- Castro Roa D.** 2009. Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá. *Tesis de Doctorado Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.* 104 pp.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA).** 2005. Delimitación de acuíferos. *Gerencia de Aguas subterráneas. México.*
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA).** 2009. Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo. 176 pp.
- Comas AG,** 1966. Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba. *J.*



- Cramer. Stuttgart Berlín 100 pp.
- Conforti V.** 1986. Euglenophyta. *Strauss Offsetdruck. Hirschberg, Germany.* 301 pp.
- Conzonno VH.** 2009. Limnología química. *La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de la plata.*
- Cortes RMV, Hughes SJ, Rodrigues Pereira V y Pinto Varandas DDG.** 2013. Tools for bioindicator assessment in river: The importance of spatial scale, land use patterns and biotic integratio. *Ecological Indicator* 34. 460-477.
- Darley WM.** 1987. Biología de las Algas, Enfoque Fisiológico. *Ed Limusa. México.* 236 pp.
- De Fabricius.** 2000. Las algas, indicadores de la calidad del agua. *Interciencia, UNRC, 4(4):* 10-14.
- Dillard GE.** 1990. Freshwater Algae of the Southeastern United States Part 3. *Chlorophyceae: Zygnematales: Zygnemataceae, Mesotaenaceae and Desmidiaceae (Section 1).* J. Cramer. Germany. 172 pp.
- García E.** 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. *Larios S.A. México D.F.* 415 pp.
- Gari N y Corigliano MC.** 2004. La estructura del perifiton y de la deriva algal en arroyos serranos. *Limnetica* 23 (1-2): 11-24.
- Guiry DM.** 2011. AlgaeBase. *World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway.* En [http:// www.algaebase.org](http://www.algaebase.org). accesada abril 2014.
- John DM, Whitton BA y Brook AJ.** 2003. The Freshwater Algal Flora of the British Isles. *Cambridge University Press. United Kingdom.* 702 pp.
- Komárek J y Anagnostidis K.** 2001. Cyanoprokaryota 1 Teil: Chroococcales. *Gustav Fischer. Germany.* 548 pp.
- Komárek J y Anagnostidis K.** 2002. Cyanoprokaryota 2 Teil: Oscillatoriales. *Elsevier. Italy.* 759 pp.
- Kramer Ky Lange-Bertalot H.** 1986. Sübwasserflora von Mitteleuropa. *Bacillariaceae* 12. Teil: Naviculaceae. *Gustav. Fischer Verlag. Stuttgart Jena,* 596 pp.
- Kramer Ky Lange-Bertalot H.** 1988. Sübwasserflora von Mitteleuropa. *Bacillariaceae* 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae y Surirellaceae. *Gustav. Fischer Verlag. Stuttgart Jena,* 596 pp.
- Kramer K y Lange-Bertalot H.** 1991a. Sübwasserflora von Mitteleuropa. *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae.* Tomo 3. *Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart. New York.* 575 pp.
- Kramer K y Lange-Bertalot H.** 1991b. Sübwasserflora von Mitteleuropa. *Achnanthaceae.* Tomo 4. *Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart. New York.* 434 pp.
- Krammer K.** 2000 a. Sübwasserflora von Mitteleuropa. *Diatoms of Europe. Ed. Lange-Bertalot. Vol I. Thegennus Pinnularia.* 630 pp.
- Krammer K.** 2000 b. Diatoms of Europe. *Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Volume 1.* The genus *Pinnularia.* H. Lange-Bertalot (Ed.). ARG Gantner Verlag K.G. 703 pp. 217 Plates.
- Krammer K.** 2002. Diatoms of Europe. *Cymbella. Volume 3.* H. Lange-Bertalot (Ed.). ARG Gantner Verlag K.G. Germany. 584 pp.
- Leandrini JA, Fonseca IA y Rodriguez L.** 2008. Characterization of habitats base on algal periphyton biomass in the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Braz. J. Biol.,* 68 (3): 503-509.
- Lobo EA, Wetzel CE, Schuch M & Ector L.** 2014. Diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da agua en sistemas lóticos subtropicales e temperados Brasileiros. *EDUNISC.* 143 PP.
- Luque ME & Martínez de Fabricius AL.** 2003. Distribución del fitoplancton y epilíton en el río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). *Limnetica* 22 (3-4): 19-34.
- Luque ME & Martínez de Fabricius AL.** 2003. Distribución temporal del fitoplancton y epilíton en el río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). *Limnetica* 22(3-4): 19-34.
- Luque ME & Martínez de Fabricius AL.** 2010. Estudio del componente algal en la cuenca baja del río Cuarto (Córdoba, Argentina). *Lilloa.* 47 (1-2): 1-12.
- Margalef R.** 1978. Perspectivas de la teoría ecológica. *Editorial Blume. Barcelona España.* 106 pp.
- Margalef R.** 1983. Limnología. *Ediciones Omega. S. A. Barcelona, España.* 1010 pp.
- Martínez de Fabricius AL, Luque ME, Lombardo D & Bruno E.** 2007. Potamoplancton en la cuenca media del río Cuarto (Córdoba, Argentina). *Limnetica* 26 (1): 25-38.
- Mc. Cabe SK y Cyr H.** 2006. Environmental variability influences the structure of Benthic algal communities in an oligotrophic lake. *Oiko.* 115 (2): 197-206.
- Mc Intire CD.** 1968. Structural characteristic of benthic algal communities in laboratory stream. *Ecologia* 49: 20-537.
- Mochini C.** 1988. Seasonal variation of biomass and productivity of the periphytic community on artificial substrata in the Jurumirim Reservoir (Sao Paulo Brasil) *Hydrobiologia* 434: 35-40.
- Montoya MY y Ramírez J.** 2007. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical. Vol* 55, Núm 002. 585-593.
- Montoya Moreno Y & Aguirre RN.** 2013. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colonia. *Revista gestión y Ambiente. Vol.* 16 (3): 91-117.
- Patrick R & Reimer WC.** 1966. The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. *Monograph of the Academy of natural Sci. of Philadelphia. I* (13); XI 688 pp.
- Patrick R & Reimer WC.** 1975. The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. *Monograph of the Academy of natural Sci. of Philadelphia. II* (13); XI 688 pp.
- Pérez Munguía RM, Aguilera Ríos MS y JL. Mora Guerrero.** 2006. Monitoreo ambiental del río "Cupatitzio", en la cabecera de la microcuenca y dentro del Parque Nacional "Barranca del Cupatitzio", en la Ciudad de Uruapan, Michoacán. *Biológicas No.* 8. 18-30.
- Prescott WG & Vinyard CW.** 1982. A synopsis of North American desmids. *University of Nebraska Press. United States of America.* 685 pp.
- Rzedowski J.** 1978. Vegetación de México. *Limusa. México, D. F.* 432 pp.
- Round FE, RM Crawford & DG Mann.** 1990. The Diatoms Biology & Morphology of the Genera. *Press Syndicat of the University of Cambridge. United Kingdom.* 747 pp.
- Round FE, RM Crawford & DG Mann.** 2000. The Diatoms.

Cambridge University Press. Great Britain. 147. pp.

**Salomoni SE & Torgan LC.** 2008. Epilithic diatoms as organic contamination degree indicators in Guaiba Lake, Southern Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, vol. 20, no 4. 313-324.

**Scarsbrook MR y CR Towswnd.** 1993. Stream community structure in relation to spatial and temporal variation: an habitat templet study of two constasting. *New Zealanda streams. Freshwater Biology* 29: 395-410.

**Schroerbel J.** 1975. Métodos de Hidobiología (Biología de agua dulce) H. Blume ediciones. Madrid, España. 291 pp.

**Segura García MV.** 2011. Taxonomía y Ecología de las diatomeas Epilíticas de la Cuenca del Alto Lerma, México. *Tesis de Doctorado. Universidad Nacional, Autonoma de México.* 150 pp.

**Seelgiman C, B Tracanna, S Martínez y S Isasmendi.** 2001. Algas

fitoplanónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noreste argentino. *Limnética* 20 (1):123-133.

**Utermöhl H.** 1958. Limnologische Phytoplankton studien. *Die Besiedlung ostholstenischer See mit Schwebepflanzen. Arch. Hydrobiologia* 5. 527 pp.

**Vannote RL, GW Minshall, KW Cummin, JR Sedell y CE Cushing.** 1980. The river continium concept. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Science.* 37: 130-137.

**Vanormelingen P, E Verleyen y W Vyverman.** 2008. The diversity and distribution of diatoms from cosmopolitanism to narrow endemism. *Biodiversity Conservation:* 17: 393-405.

**WetzelRG.** 1981. Limnologia. Ed. Omega S.A. Barcelona, España. 679.

**Wetzel RG.** 2001. Limnology. *Third edition. Academic Press. San Diego California USA.* 1006 pp

## Apendice A. Lista Taxonómica de las microalgas del perifiton

Clase	
<b>Cyanophyceae</b>	<i>Anabaena verrucosa</i> J.B.Petersen
	<i>Chroococcus minus</i> (Kützing) Nägeli
	<i>Chlorogloea microcystoides</i> Geitler
	<i>Komyophoron constrictum</i> (Szafer) Anagnostidis & Komárek
	<i>Pleurocapsa minor</i> Hansgirg
	<i>Lyngbya lagerheimii</i> (Möbius) Gomont
	<i>Oscillatoria agardhii</i> Gomont
	<i>O. limosa</i> C. Agardh
	<i>O. redeckeii</i> Van Goor
	<i>Phormidium articulatum</i> (Gardner) Anagnostidis & Komárek
	<i>P. corium</i> (C.Agardh) Kützing
	<i>P. fragile</i> Gomont
	<i>P. luridum</i> (Kützing) Gomont
	<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn
	<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing
	<i>M. punctata</i> Meyen
<b>Euglenaceae</b>	<i>Euglena acus</i> (O.F.Müller) Ehrenberg
	<i>E. variabilis</i> G.A.Klebs
	<i>Strombomonas deflandrei</i> (Y.V.Roll) Deflandre
	<i>Phacus curvicauda</i> Svirenko
	<i>Petalomonas angusta</i> (Klebs) Lemmermann
	<i>P. mediocanellata</i> Stein

Clase	
<b>Cryptophyceae</b>	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<b>Xanthophyceae</b>	<i>Centrtractus belonophorus</i> (W. Schmidel) E. Lemmermann
	<i>Characiopsis minor</i> Pascher
<b>Bacillariophyceae</b>	<i>Achnanthes angustissima</i> Jasnitsky
	<i>A. flexella</i> (Kützing) Brun
	<i>A. hintzii</i> Lange-Bertalot & Krammer
	<i>A. inflata</i> (Kützing) Grunow
	<i>A. lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow in Cleve & Grunow
	<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) D. B Czarnecki
	<i>A. minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki
	<i>Cocconeis neothumensis</i> Krammer
	<i>C. placentula</i> Ehrenberg
	<i>C. placentula</i> var. <i>klinoraphis</i> Geitler
	<i>C. placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) P. Cleve
	<i>C. pseudothumensis</i> Reichardt
	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow
	<i>H. virgata</i> (Roper) Grunow
	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow
	<i>N. clausii</i> Hantzsch
<i>N. constricta</i> (Gregory) Grunow	
<i>N. flexoides</i> Geitler	

Clase	
	<i>N. gracilis</i> Hantzsch
	<i>N. levidensis</i> (W.Smith) Grunow in Van Heurck
	<i>N. linearis</i> (C.Agardh) W.Smith
	<i>N. nana</i> Grunow
	<i>N. palea</i> (Kützing) W.Smith
	<i>N. recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst
	<i>N. umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot
	<i>N. vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst
	<i>Tryblionella levidensis</i> W.Smith
	<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve
	<i>C. caespitosa</i> (Kützing) Schutt
	<i>A. levanderi</i> Hust
	<i>C. cistula</i> (Hemprich & Ehrenberg) O. Kirchner
	<i>C. silesiaca</i> Bleisch in Rabenhorst
	<i>Gomphonema affine</i> Kützing
	<i>G. augur</i> Ehrenberg
	<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing
	<i>G. pseudoaugur</i> Lange-Bertalot
	<i>G. truncatum</i> Ehrenberg
	<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kützing) Grunow
<b>Bacillariophyceae</b>	<i>Mastogloia smithii</i> var. <i>lacustris</i> Grunow
	<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni
	<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Mereschkowsky
	<i>Navicula absoluta</i> Hustedt
	<i>N. clementis</i> Grunow
	<i>N. clementoides</i> Hustedt
	<i>N. cryptocephala</i> Kützing
	<i>N. elginensis</i> (W.Gregory) Ralfs
	<i>N. kotschyi</i> Grunow
	<i>N. radiosa</i> Kützing
	<i>Neidium affine</i> var. <i>amphirhynchus</i> (Ehrenberg) Cleve
	<i>N. affine</i> var. <i>humerus</i> Reimer
	<i>N. bisulcatum</i> (Lagerstedt) Cleve
	<i>N. hercynicum</i> Mayer
	<i>Pinnularia divergens</i> W.Smit
	<i>P. divergentissima</i> (Grunow) Cleve
	<i>P. episcopalis</i> Cleve
	<i>P. lundii</i> Hustedt
	<i>P. maior</i> (Kützing) Cleve
	<i>P. microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve
	<i>P. pulchra</i> Østrup
	<i>P. stomatophora</i> (Grunow) Cleve

Clase	
	<i>P. subcapitata</i> W.Gregory
	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst
	<i>G. nodiferum</i> (Grunow) Reimer
	<i>G. scalproides</i> (Rabenhorst) Cleve
	<i>Pleurosigma angulatum</i> W.Smith
	<i>Sellaphora guyanensis</i> D.Metzeltin & Lange-Bertalot
	<i>S. pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky
	<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G.Mann in Round, Crawford & Mann
	<i>Stauroneis javanica</i> (Grunow) Cleve
	<i>S. constricta</i> Cleve
	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller
	<i>R. gibba</i> var. <i>minuta</i> Krammer
	<i>R. gibba</i> var. <i>parallela</i> (Grunow) Holmboe
	<i>R. musculus</i> (Kützing) Otto Müller
<b>Bacillariophyceae</b>	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) R.Ross
	<i>Amphora libyca</i> Ehrenberg
	<i>A. ovalis</i> (Kützing) Kützing
	<i>A. veneta</i> Kützing
	<i>Campylodiscus noricus</i> Ehrenberg
	<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
	<i>Surirella angusta</i> Kützing
	<i>S. biseriata</i> Brébisson in Brébisson & Godey
	<i>S. bohémica</i> Maly
	<i>S. caproni</i> L.A.Brébisson ex F.Kitton
	<i>S. ovalis</i> Brébisson
	<i>S. robusta</i> Ehrenberg
	<i>Eunotia circumborealis</i> Lange-Bertalot & Norpel
	<i>E. diodon</i> Ehrenberg
	<i>E. monodon</i> Ehrenberg 1843
	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières
	<i>F. capucina</i> var. <i>perminuta</i> (Grunow) Lange-Bertalot
	<i>F. crotonensis</i> Kitton
	<i>F. lapponica</i> Grunow in van Heurck
	<i>F. nitzschoides</i> Grunow in Van Heurck
	<i>F. parasitica</i> (W.Smith) Heiberg
<b>Fragilariophyceae</b>	<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg
	<i>S. construens</i> var. <i>venter</i> (Ehrenberg) Grunow in Van Heurck
	<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round
	<i>S. pinnata</i> var. <i>intercedens</i> (Grunow) Frenguelli
	<i>Synedra fasciculata</i> (Agardh) Kützing

Clase	
Fragilariophyceae	<i>S. gouldarii</i> Brébisson ex Cleve & Grunow
	<i>S. rumpens</i> Kützing
	<i>S. rumpens</i> var. <i>fragilarioides</i> Grunow in Van Heurck
	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M.Aboal
	<i>U. ulna</i> (Nitzsch) P.Compère
Coscinodiscophyceae	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
	<i>A. granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen
	<i>Melosira varians</i> C.Agardh
	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing
	<i>C. ocellata</i> Pantocsek
	<i>C. plitvicensis</i> Hustedt
Chlorophyceae	<i>Chlamydomonas platyrhyncha</i> Korshikov in Pascher
	<i>Pleodorina californica</i> W.R.Shaw
	<i>Keratococcus bicaudatus</i> (A.Braun ex Rabenhorst)
	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda ex Korshikov
	<i>Hydrodyction reticulatum</i> (Linnaeus) Bory de Saint-Vincent
	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghin
	<i>P. boryanum</i> var. <i>cornutum</i> (Raciborski) Sulek
	<i>P. duplex</i> Meyen
	<i>P. tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs
	<i>P. integrum</i> Nägeli
	<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris
	<i>Scenedesmus abundans</i> (O.Kirchner) Choda
	<i>S. antillarum</i> Comas González
	<i>S. arcuatus</i> Lemmermann
	<i>S. arthrodesmiformis</i> Schröder
	<i>S. communis</i> E.H.Hegewald
	<i>S. dimorphus</i> (Turpin) Kützing
	<i>S. falcatus</i> Chodat
	<i>S. grahneisii</i> (Heynig) Fott
	<i>S. incrassatulus</i> Bohlin
	<i>S. insignis</i> (W.& G.S.West) Chodat
	<i>S. intermedius</i> var. <i>acutispinus</i> (Y.V.Roll) E.Hegewald & An in Hegewald, An & Tsarenko
	<i>S. obliquus</i> (Turpin) Kützing
	<i>S. opoliensis</i> P.G.Richter
	<i>S. opoliensis</i> var. <i>mononensis</i> Chodat
	<i>S. serratus</i> (Corda) Bohlin
	<i>Uronema confervicola</i> Lagerheim

Clase	
Chlorophyceae	<i>Stigeoclonium nanum</i> (Dillwyn) Kützing
Trebouxiophyceae	<i>Selenastrum gracile</i> Reinsch
Ulvophyceae	<i>Cladophora fracta</i> (O.F.Müller ex Vahl) Kützing
	<i>Ulothrix tenerrima</i> (Kützing) Kützing
	<i>U. aequalis</i> Kützing
Conjugatophyceae	<i>Closterium aciculare</i> T.West
	<i>C. acutum</i> var. <i>variabile</i> (Lemmermann) Willi Kreiger
	<i>C. ehrenbergii</i> Meneghini ex Ralfs
	<i>C. gracile</i> var. <i>tenuis</i> (Lemmermann) West & G.S.West
	<i>C. lanceolatum</i> Kützing ex Ralfs
	<i>Cosmarium margaritatum</i> (P.Lundell) J.Roy & Bisset
	<i>C. obtusatum</i> (Schmidle) Schmidle
	<i>C. phaseolus</i> f. <i>minus</i> Boldt
	<i>C. reniforme</i> (Ralfs) W.Archer
	<i>C. subcrenatum</i> Hantzsch
	<i>C. tinctum</i> Ralfs
	<i>C. turpinii</i> Brébisson
	<i>Staurastrum punctulatum</i> Brébisson in Ralfs
	<i>Cylindrocystis gracilis</i> I. Hirn
	<i>Penium margaritaceum</i> Brébisson in Ralfs
	<i>Spirogyra</i> sp. Link