

Atributos ecológicos de la microflora adherida en el lago cráter de Teremendo, Michoacán, México

María del Rosario Ortega-Murillo✉, **Rubén Hernández-Morales**, **Octavio Vásquez-Jarquín**, **Reyna Alvarado-Villanueva**

Laboratorio de Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz", Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Santiago Tapia #403 Col. Centro, C.P. 58000, Morelia, Michoacán.

Resumen

La composición del perifiton en los cuerpos de agua depende del tipo de sustrato, de la rugosidad así como del estado trófico del sistema lacustre, dicho gremio constituye la base de la cadena alimenticia de muchas especies acuáticas. El lago cráter la Alberca de Teremendo fue declarado como zona eco-turística, donde hay pocos realizados sobre el perifiton. La investigación se efectuó en el periodo de marzo del 2010 a febrero del 2011, en el cual se colectó material ficológico a través de un cuadrante de 25 cm², por medio de un raspado circular con un cepillo de cerdas finas. Las muestras se colocaron en un frasco de 50 ml con agua filtrada del medio, preservando con formol al 4% neutralizado con bórax. Se identificaron 119 especies pertenecientes a 12 clases, de las cuales Bacillariophyceae alcanzó la mayor diversidad específica, mientras que Cyanophyceae obtuvo la mayor densidad. Con respecto a la ecología de las especies constituyentes del perifiton se determinó que prefieren al micro hábitat que les proporciona la vegetación acuática, mientras que las variables ambientales que marcaron la asociación en cinco grupos fueron: temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno, alcalinidad total, dureza total y cantidad de magnesio.

Palabras clave: cyanophyceae, eutrófico, lago cráter, perifiton.

Ecological attributes of the periphyton on Teremendo crater lake, Michoacan, Mexico

Abstract

The periphyton composition in water bodies depends on the substrate roughness and trophic status of the lake system, said guild is the basis of the food chain of many aquatic species. The crater lake "Alberca de Teremendo" was declared as eco-tourist area where there are few studies on periphyton. This research was conducted in the period March 2010 to February 2011, in which phycological material was collected through a quadrant of 25 cm², through a circular with a fine brush scraping. Samples were placed in a 50 ml bottle with filtered water medium, preserving with 4% formaldehyde neutralized with borax. We identified 119 species belonging to 12 classes, of which Bacillariophyceae reached the highest species diversity, while Cyanophyceae had the highest density. Most of periphyton species was associated to microhabitats such as aquatic vegetation. In addition, abiotic factors such as temperature, pH, biochemical oxygen demand, total alkalinity, total hardness and magnesium availability explain the association of five different groups of periphyton species.

Key words: cyanophyceae, eutrophic, crater lake, periphyton.

Introducción

La fracción autótrofa de la comunidad del perifiton en cuerpos de agua continentales, se encuentra constituida por una gran diversidad de grupos taxonómicos, entre los cuales destacan las diatomeas (Bacillariophyceae, Fragilariophyceae y Coscinodiscophyceae), cianobacterias (Cyanophyceae), algas verdes (Chlorophyceae) y xantofíceas (Xanthophyceae), mientras que otros taxa incurrir de forma accidental a la colonización de sustratos en donde se desarrolla dicho gremio, de los cuales sobresalen los euglenídeos (Euglenophyceae), criptomónidos (Cryptophyceae), dinoflagelados (Dinophyceae) y algas doradas (Chrysophyceae), como lo mencionan Soininen *et al.* (2004). Las especies que integran a éste gremio, son altamente sensibles a los cambios de variables físicas y químicas del cuerpo de agua, así como a las condiciones ambientales prevalecientes afectando su distribución (De la Lanza *et al.* 2000, Wetzel 2001). Esta cualidad ha adquirido un valor importante en el monitoreo biológico, ya que la microflora manifiesta tendencias asociadas al nicho ecológico requerido para su óptimo desarrollo (Margalef 2005), por lo cual, su presencia en los ecosistemas acuáticos sugiere las características del hábitat y la respuesta ecológica a las perturbaciones en el corto y mediano

plazo (Martínez De Fabricius 2000).

El lago cráter la Alberca de Teremendo, se localiza en la tenencia de Teremendo de los Reyes en Morelia Michoacán (Medrano 2011). Se considera cálido monomítico, por el establecimiento de una termoclina en primavera, verano y parte del otoño, con un evento holomítico en invierno (Hernández, 2011), el cual alberga aguas de color amarillo verdoso, oxigenadas en superficie, hipóxicas en el metalimnio y anóxicas en el hipolimnio (Hernández 2011 y Cansino 2011). La carga nutrimental, su transparencia y la densidad algal, permiten clasificarlo como un sistema eutrófico, con una reserva calórica contrastante entre el epilimnio e hipolimnio (Carrillo 2012). El régimen de estratificación y mezcla, dirige las modificaciones físicas y químicas en la columna del agua, afectando el desarrollo de las comunidades biológicas del fitoplancton y el perifiton (Hernández 2011 y Vásquez 2012). En la presente investigación se determinan los factores físicos y químicos que afectan la variación temporal de la composición taxonómica de la microflora adherida, con énfasis en la descripción de la ecología de las especies más abundantes en un ciclo anual.

Materiales y métodos

El lago cráter la Alberca de Teremendo se sitúa en la localidad de Teremendo de los Reyes, al noroeste de la ciudad de Morelia, Michoacán (**Figura 1**). Entre las coordenadas

✉ **María del Rosario Ortega Murillo**, rosaormu@yahoo.com.mx
Manantiales de Sindurio #141. Inf. Los Manantiales, C.P. 58183, Morelia, Michoacán, México.

19°48'23" N y 101°27'13" W, a una altitud de 2,100 msnm (Correa *et al.* 2003). Forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano (Garduño-Monroy *et al.* 1999), dentro de la Región Hidrológica 12 Lerma-Chapala-Santiago (INEGI 1999). El tipo de rocas corresponden a formas basálticas de permeabilidad alta (INEGI 1982, Correa *et al.* 2003), los suelos son de origen volcánico, representados por Feozem haplico, con importantes cantidades de arena, seguidas de limo y arcilla, (INEGI 1979 y Correa *et al.* 2003), el tipo de clima es C (w,) (w), templado subhúmedo con lluvias en verano (García 1988) y la vegetación es bosque tropical caducifolio dando lugar a la sucesión por vegetación secundaria densa (INEGI 2006).

En el ecosistema lacustre anteriormente citado se realizaron colectas mensuales en un periodo anual (marzo 2010 a febrero 2011), en el cual se colectó material ficológico en seis sitios, situados en el litoral del vaso de recepción (**Tabla 1**). Las muestras fueron obtenidas de forma simple, en dos sustratos naturales y tres artificiales, al transportar el biofilm de un área de 25 cm², por medio de raspados circulares con un cepillo de cerdas finas, el cual fue depositado en 50 mL de agua filtrada del medio (filtros Watmann GF/C), preservado con formol neutralizado con bórax (pH 7) a una concentración final de 4%, con el propósito de preservar flagelos y evitar la deformación del periplasto de organismos que carecen de protecciones celulares (frústulo, loricas o tecas).

La identificación del material biológico se realizó en el Área de Ficología del Laboratorio de Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz" de la Facultad de Biología de la UMSNH, con los criterios taxonómicos de Prescott y Vinyard (1982) para Conjugatophyceae, Conforti (1986) en Euglenophyceae, Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a y 1991b) y Krammer (2000 y 2002) para Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae y Meriodiophyceae, Comas (1996) para Trebouxiophyceae, Komárek y Anagnostidis (2001 y 2002) para Cynophyceae y John *et al.* (2002) para el resto de las microalgas. El registro de caracteres morfológicos diagnósticos para la determinación del grupo se efectuó con un microscopio compuesto marca Leitz, con la magnificación de 100X. Posterior a la identificación se llevó a cabo una actualización taxonómica de los ejemplares, con base

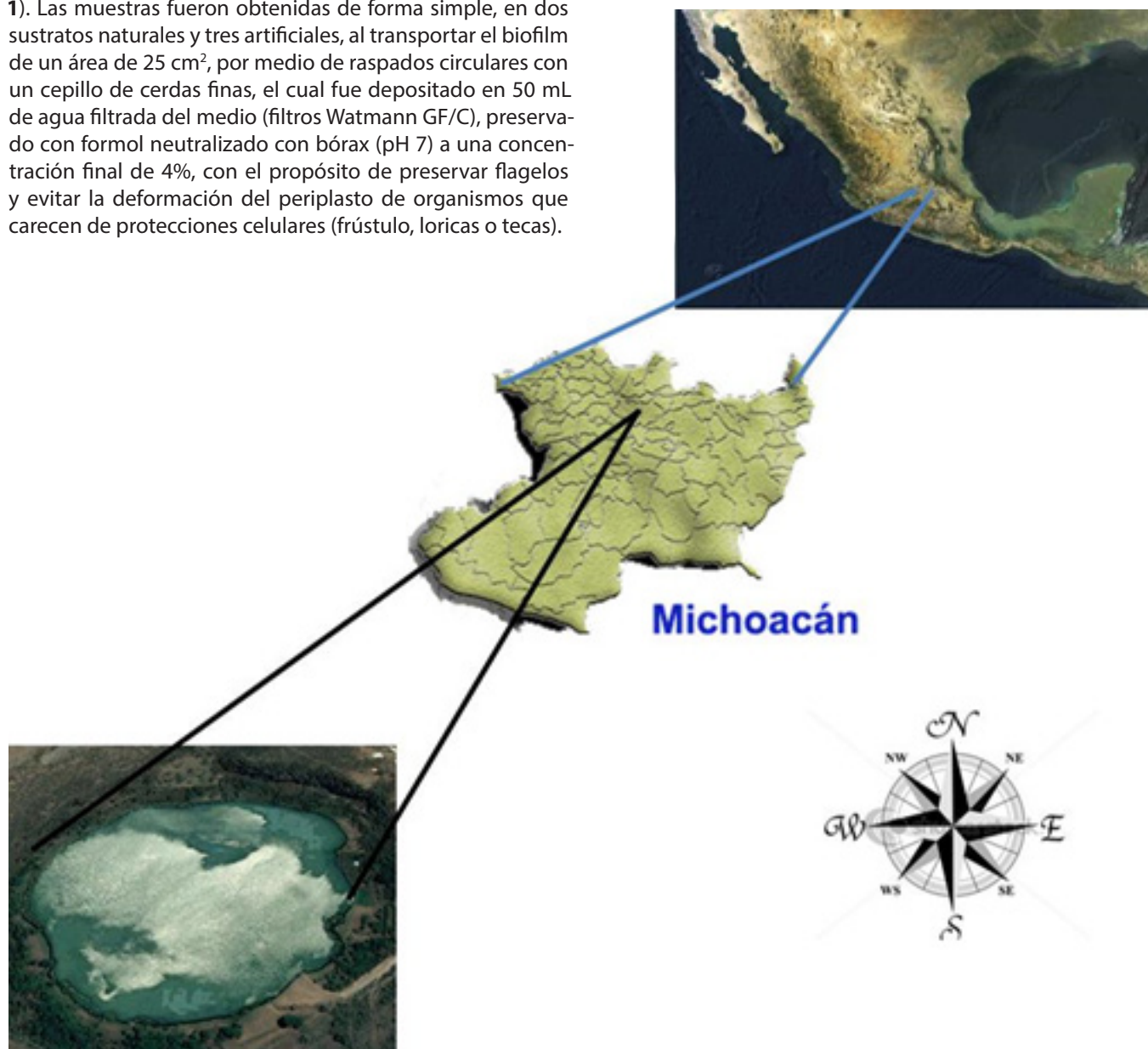


Figura 1. Localización geográfica del lago cráter de Teremendo.

Tabla 1. Ubicación y descripción de los sitios de colecta en el lago de Teremendo.

Sitio de colecta	Coordenadas	Características
1	19°48'18.90"N 101°27'20.25"W	Ubicado cerca de la bomba de agua. Al sureste del vaso de recepción
2	19°48'23.84"N 101°27'23.64"W	Colocado enfrente de una huerta de aguacate. Al suroeste del vaso de recepción
3	19°48'30.39"N 101°27'21.09"W	Cerca de la zona de cultivo de maíz. Al este del vaso de recepción
4	19°48'32.18"N 101°27'13.20"W	Situado cerca de la placa histórica de la "Alberca" de Teremendo. Al norte del vaso de recepción
5	19°48'28.05"N 101°27'09.32"W	Localizado en el escurrimiento de un manantial. Al noroeste del vaso de recepción
6	19°48'24.57"N 101°27'08.73"W	Cerca del humedal, en donde existe tular. Al noroeste del vaso de recepción

en la base de datos internacional de las siguientes asociaciones científicas: Sociedad Británica de Ficología, Sociedad Ficológica de América, Sociedad Koreana de Ficología, y la Sociedad Japonesa de Ficología (Guiri y Guiri 2015).

La cuantificación se desarrolló por el método de sedimentación de Utermöhl (1958), modificado por Schwoerbel (1975), con cámaras de 5 mL y un microscopio invertido modelo ID03 marca ZEISS con el objetivo de 32 X, mientras que la ecología de las especies se obtiene de una inferencia estadística elaborada por un análisis de ordenación (DCA) con el programa PC-Ord versión 4.10 (McCune y Mefford 1999), para el cual se depuró una matriz conformada por 1296 datos correspondientes a 18 parámetros fisicoquímicos extraídos de Cansino (2011), por medio de un análisis de componentes principales (ACP) y correlaciones de Spearman, ambos determinados con el programa JMP versión 3.2 (Sall *et al.* 1997), hasta alcanzar un eigenvalue superior al 80%.

En el análisis estadístico de datos se utilizó mediante estadística inferencial paramétrica, usando un análisis de varianza de una vía (ANOVA), para detectar diferencias significativas entre los sitios de colecta, por medio del programa JMP versión 3.2 (Sall *et al.* 1997).

Resultados

Del análisis de 175 muestras, se registró una riqueza específica total de 119 especies, las cuales pertenecen a 68 géneros y 12 clases. La riqueza específica está encabezada por el grupo de las diatomeas (41%), precedidas por las algas verdes (27%), y las cianobacterias (23%), mientras que los grupos que aportan el menor número de especies

corresponden a dinoflagelados, criptofíceas y haptofíceas, con el 0.84% cada uno (Tabla 2, Figura 2).

La clase Cyanophyceae, encabeza la densidad relativa en el periodo de estudio, con más del 75% de la proporción en el parámetro (Figura 3), cabe resaltar que existieron diferencias significativas entre la concentración celular del periodo comprendido de julio a febrero, con la registrada en el periodo de marzo y abril ($F = 20.6$; $P < 0.0001$), ya que en el primer conglomerado se registra un promedio de 34.48 ± 8.7 org/L, mientras que en el segundo se estima un valor de 54.8 ± 7.07 org/L. Con respecto al mes de mayo se infiere que es estadísticamente diferente al resto del año ($F = 20.9$; $P < .0001$), en el cual se registra un incremento celular de dicha clase, la cual alcanza 115.3 ± 9.7 org/L.

En relación a la densidad algal en diversos sustratos, se encontró que la clase Bacillariophyceae (Figura 3), alcanzó un máximo en el mes de enero (23.5 ± 10.5 org/L), habiendo diferencias estadísticas en el periodo de estudio ($F = 3.6$; $P < 0.0002$), habiendo meses con baja densidad celular (2.6 ± 7.4 org/L) correspondientes a abril, mayo, junio, agosto, septiembre. Un periodo intermedio, conformado por marzo, julio y octubre, en el cual la densidad celular se incrementó (7.8 ± 1.5 org/L), y por último los meses de noviembre, diciembre y enero, presentaron un crecimiento diatomológico en invierno.

Es de resaltar que los grupos taxonómicos con una baja densidad celular correspondieron a Coccolitophyceae, Cryptophyceae, Mediophyceae, Coscinodiscophyceae, Trebouxiophyceae, Conjugatophyceae y Dinophyceae (Figura 3).

Las especies más abundantes en el periodo de estudio pertenecen al grupo de las cianobacterias (Cyanophyceae), con *Oscillatoria quasiperforata* Skuja, *Jaaginema geminatum* (Schwabe ex Gomont) Anagnostidis y Komárek, así como

Tabla 2. Componente taxonómico del perifiton en el lago cráter de Teremendo.

Clase	Subclase	Orden	Suborden	Familia	Género	Especie
Cyanophyceae	3	6	11	0	17	29
Euglenophyceae	0	1	0	1	3	4
Dinophyceae	0	1	0	1	1	1
Bacillariophyceae	0	7	2	11	17	37
Coscinodiscophyceae	0	1	0	1	1	1
Fragilariophyceae	0	2	0	2	7	8
Mediophyceae	0	1	0	1	1	1
Cryptophyceae	0	1	0	1	1	1
Coccolitophyceae	0	1	0	1	1	1
Chlorophyceae	0	4	0	6	11	23
Trebouxiophyceae	0	2	0	2	6	10
Conjugatophyceae	0	2	0	2	2	3
Total	3	29	13	29	68	119

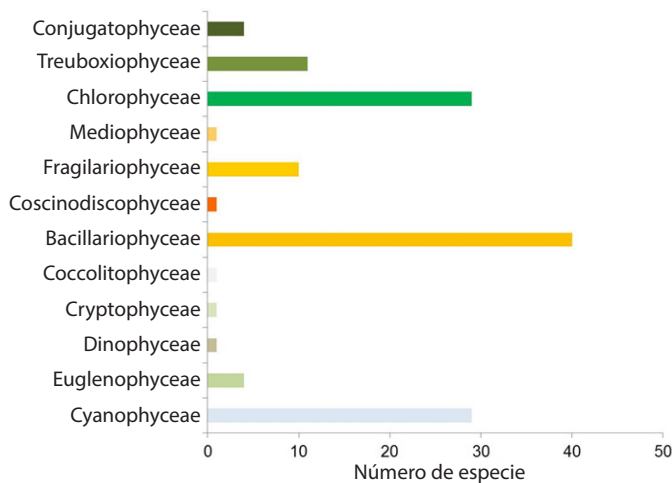


Figura 2. Distribución del componente taxonómico.

Limnothrix brachynema (Skuja) Hindák y Trifonova, mientras que las especies que se encontraron con una baja densidad celular corresponden al grupo de las diatomeas (Bacillariophyceae) con *Achnanthisidium minutissimum* (Kützinger) Czarnecki, *Navicula kotschy* Grunow, *Gomphonema augur* Ehrenberg y el dinoflagelado *Peridinium inconspicuum* Lemmermann (**Figura 4**).

Con respecto a la colonización de sustratos, es de resaltar que los sustratos naturales, presentaron un porcentaje de colonización mayor que el registrado para los sustratos artificiales. Debido a que el sustrato provisto por las macrófitas en sus diferentes secciones sumergidas (raíz, tallo y hoja) tuvieron una frecuencia de colonización de 42%, superior a los sustratos lítico (20%), xilótico (19%), plástico (14%) y vidrio (5%). Al respecto *Oscillatoria quasiperforata* Skuja y *Jaaginema geminatum* (Schwabe ex Gomont) Anagnostidis y Komárek, tuvieron una preferencia a la colonización sobre sustrato, manifestándose como organismos epífitos (principalmente de la sección radicular de plantas vasculares), epilíticos y epixilóticos; desarrollándose óptimamente en los sitios dos, tres y cinco, correspondientes a la huerta, el cultivo de maíz y la descarga de agua de un manantial con ligera contaminación. En cuanto a las especies con menor densidad, como *Peridinium inconspicuum* Lemmermann y *Cryptomonas ovata* Ehrenberg, es relevante mencionar que muestran afinidad por colonizar al sustrato epifítico, particularmente la sección sumergida de hojas y raíz, situadas cerca de sitios con disponibilidad de material orgánico particulado.

La presencia de las especies del perifiton, registradas en el lago cráter de Teremendo, no sólo se encuentra dirigida por el tipo de sustrato, ya que las características fisicoquímicas del epilimnio son de vital importancia, particularmente por el nicho ecológico en el cual se desarrolla cada una de ellas. Por lo cual, para delimitar el nicho fundamental, un análisis de ordenación (DCA), distingue la formación de cinco grupos con un eigenvalue de 98.82 (**Figura 5**), los cuales están definidos por la variación de cinco variables fisicoquímicas: temperatura del agua, pH, demanda bioquímica de oxígeno

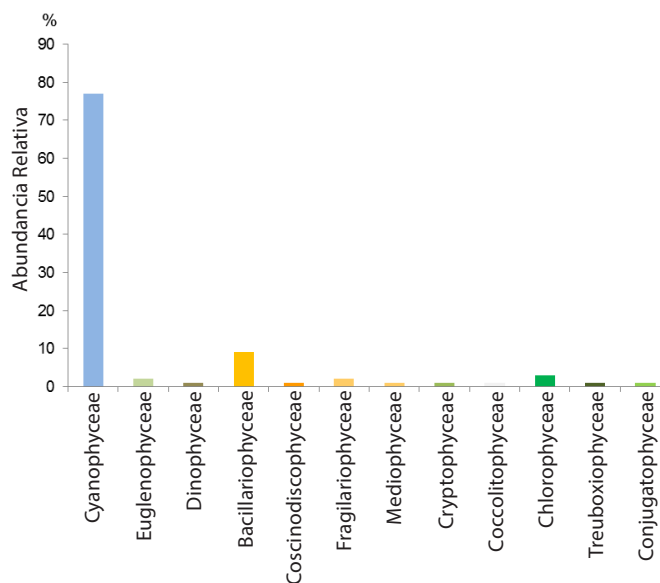


Figura 3. Abundancia relativa del perifiton en el lago cráter de Teremendo.

(DBO_5), alcalinidad total y la dureza total (**Tabla 3**).

El primer agregado, se conformó por cuatro especies, las cuales se presentan en aguas con bajas concentraciones de magnesio y material orgánico disuelto potencialmente degradable. En el grupo dos, se congregan siete especies, en un epilimnio con bajas concentraciones en la carga orgánica disuelta, en dureza total y de magnesio. La tercera asociación, estuvo marcada con la presencia de 27 especies que habitan en un ambiente con temperaturas cálidas y pH cercano a la neutralidad. El aglomerado cuatro, estuvo integrado por ocho especies, las cuales habitan ambientes cálidos, aguas alcalinas y pH básico. Finalmente el grupo cinco, estuvo constituido por cinco especies, localizadas en aguas de baja alcalinidad, moderada dureza, y altas concentraciones de material orgánico disuelto (**Tabla 4, Figura 5**).

Discusión

El lago cráter La "Alberca" de Teremendo, ocupa una antigua abertura volcánica, en una cuenca de recepción pequeña. Presenta una profundidad máxima de nueve metros, desarrollando una termoclina entre 1 y 1.5 m a finales de febrero y principios de marzo, la cual permanece hasta noviembre, condición que permite designarlo como un sistema tropical de segundo orden, del tipo cálido monomítico (Hernández 2011, Carrillo 2011 y Cansino 2011).

Con respecto al oxígeno disuelto, el máximo se localiza en la superficie, su patrón de disminución es de tipo clinogrado, hasta llegar a un fondo anóxico (Hernández 2011). La penetración de la luz es baja (0.23 m), por la elevada densidad algal en los primeros 15 cm (Carrillo, 2011), la cual se atribuye a una columna de agua mineralizada, rica en nutrientes y de condición eutrófica (Hernández 2011), características que están relacionadas con su origen volcánico, aunque recientemente el crecimiento de la

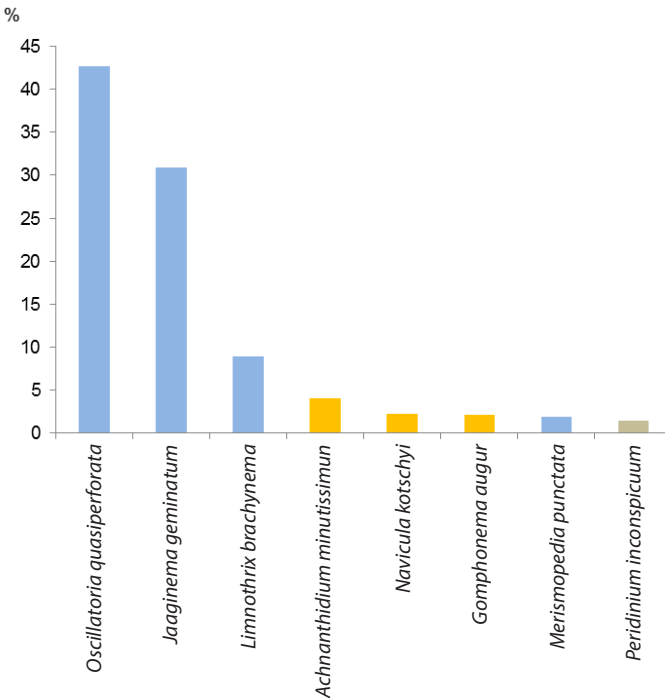


Figura 4. Especies con mayor abundancia relativa en la comunidad del perifiton.

población humana sobre las laderas volcánicas ha generado presión al aportar agua de residuo al espejo de agua (Cansino, 2011).

Con respecto al perifiton, se ha determinado que el cráter de Teremendo alberga una comunidad de alta diversidad biológica (Vázquez 2012), la cual sobrepasa al registro que se tiene en la comunidad del fitoplancton (Hernández 2011). Al respecto Reynolds (1984) y Estévez (1998), mencionan que en sistemas eutróficos, las algas adheridas, presentan una mayor riqueza específica, relacionada con un aporte continuo de nutrientes y a la estabilidad de factores en los sustratos, convirtiéndose los factores internos y externos del sistema acuático en un fenómeno de pulso para la renovación de la composición taxonómica.

Wetzel (2001) menciona que en sistemas lacustres mineralizados de condición eutrófica o hipereutróficas, la riqueza específica de la microflora se encontrará representada por cianobacterias (Cyanophyceae), diatomeas penales tanto arrafiadas como birrafiadas (Bacillariophyceae), algas verdes (Chlorophyceae y Treuboxiophyceae), euglenídeos (Euglenophyceae) y algunos dinoflagelados (Dinophyceae), debido al alto aporte orgánico y a la acelerada recirculación de nutrientes, características presentes en el cráter de Teremendo. En el presente estudio, la dominancia de cianobacterias, se asocia a la elevada carga de nutrientes y la baja transparencia del sistema, ya que dicho grupo está adaptado a efectuar fotosíntesis en longitudes de onda fuera del espectro visible (Hernández 2011), mientras que la co-dominancia de diatomeas se atribuye a que son cosmopolitas, además de su capacidad para la fabricación de pedúnculos mucilaginosos que permiten

Tabla 3. Variables fisicoquímicas que determinaron la distribución del perifiton en el lago de Teremendo.

Variable	Símbolo	Intervalo			
Temperatura (°C)	T1	>	16	<	20.5
	T2	>	20.5	<	25
Potencial Hidrogeno	pH1	>	6.9	<	8.4
	pH2	>	8.4	<	9.9
Alcalinidad Total (mg/L)	ALC1	>	60	<	90.6
	ALC2	>	90.6	<	133.3
Dureza Total (mg/L)	DT1	>	93.3	<	176.6
	DT2	>	176.6	<	260
Dureza de Magnesio (mg/L)	DMg1	>	45	<	127.5
	DMg2	>	127.5	<	210
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	DBO1	>	4.4	<	13.3
	DBO2	>	13.3	<	22.2

su adherencia a diversos sustratos (Round *et al.* 1999, Martínez de Fabricius 2000, Montoya y Ramírez 2007). Hernández (2011) menciona que en el lago de Teremendo, el grupo de algas con mayor dominancia en el fitoplancton corresponde a Cyanophyceae, precedido de Chlorophyceae y Bacillariophyceae, con un bajo registro de organismos flagelados, concordando con el registro de la microflora en el perifiton, en la cual se encontró un bajo número de especies de Cryptophyceae, Coccolitophyceae, Euglenophyceae y Dinophyceae, atribuido a que en los sistemas eutróficos el número y proporción de organismos flagelados es bajo, por la generación de partículas orgánicas de baja degradación y la competencia por luz, por el desarrollo de una zona fótica reducida (Wetzel 2001).

La abundancia de Cyanophyceae en el lago de Teremendo, no es un hecho aislado, es una respuesta a las condiciones ambientales que existen en el medio en que se desarrollan (Darley 1987). Cabe mencionar, que al incrementarse la radiación lumínica en un cuerpo de agua, la radiación ultravioleta alcanza una alta profundidad, afectando el desarrollo de la microflora planctónica y adherida, con un efecto mínimo en las algas azul verde, debido a que presentan protección a dicha radiación por contar con una vaina o mucilago, que además de proteger a la célula, activa sus mecanismos fisiológicos para seleccionar áreas optimas de radiación lumínica y de nutrientes para poder reproducirse (Reynolds 1984, Martínez y Asencio 2010).

Las cianofíceas abundantes como: *Oscillatoria quasiperforata*, *Jaaginema geminatum* y *Limnothrix brachynema* en Teremendo limitan por su densidad, la penetración de la luz en el fitoplancton, con menor impacto en el perifiton. Su éxito ecológico es debido a la disponibilidad de nutrientes como amonio y fósforo, tal como lo menciona Cansino (2011), por lo cual es frecuente la reproducción de cianobacterias sin heterocisto (Reynolds 1984, Dokulil y Teubner 2000, Oliver y Ganf 2000). Además, dichas especies en presencia de materia orgánica en descomposición

Tabla 4. Agrupación de especies del perifiton con base al análisis ordenación

Grupo 1	Grupo 4
<i>Aphanocapsa planctonica</i>	<i>Komvophoron minutum</i>
<i>Phormidium laetavirens</i>	<i>Oscillatoria ornata</i>
<i>Spirogyra</i> sp..	<i>Ankistrodesmus fusciformis</i>
<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Desmodesmus bicaudatus</i>
Grupo 2	<i>Phacus skujae</i>
<i>Homoeotrix juliana</i>	<i>Cocconeis placentula</i>
<i>Leptopyngbya lurida</i>	<i>Gomphonema olivaceum</i>
<i>Tetrasdesmus wisconsinensis</i>	<i>Tabularia faciculata</i>
<i>Amphora ovalis</i>	Grupo 5
<i>Nitzschia palea</i>	<i>Microcystis aeuuginosa</i>
<i>Ulnaria delicatissima</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>
<i>Ulnaria ulna</i>	<i>Desmodesmus opoliensis</i>
Grupo 3	<i>Monoraphidium irregulare</i>
<i>Arthrospira platensis</i>	<i>Oocystis solitaria</i>
<i>Jaaginema germinatum</i>	
<i>Limnothrix brachynema</i>	
<i>Limnothrix quasiperforata</i>	
<i>Merimospedia punctata</i>	
<i>Phormidium corium</i>	
<i>Acutodesmus acuminatum</i>	
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	
<i>Desmodesmus opoliensis</i>	
<i>Keratococcus bicaudatus</i>	
<i>Monoraphidium contortum</i>	
<i>Monoraphidium griffithii</i>	
<i>Monoraphidium irregulare</i>	
<i>Oedogonium</i> sp..	
<i>Scenedesmus disciformis</i>	
<i>Tetraedron minimum</i>	
<i>Cryptomonas ovata</i>	
<i>Peridinium inconspicuum</i>	
<i>Achnanthes minutissimum</i>	
<i>Gomphonema affine</i>	
<i>Gomphonema augur</i>	
<i>Gomphonema truncatum</i>	
<i>Kobayasiella subtilissima</i>	
<i>Navicula kotschyii</i>	
<i>Navicula pseudolanceolata</i>	
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	
<i>Synedra rumprens</i>	

las especies epífitas crecen principalmente sobre el tular y en las raíces de dichos organismos.

Darley (1987), Graham y Wilcox (2000), indican que la vegetación acuática es un área que permite la creación de microhábitat adecuado y goza de una óptima captación lumínica tanto para los organismos que se encuentran adheridos como para los que se encuentra a su alrededor. Schwoerbel (1975), Montoya y Ramírez (2007), así como Montoya y Aguirre (2013) mencionan que las algas tienen la facilidad de colonizar sustratos rápidamente cuando las condiciones ambientales les favorecen, en el presente estudio se detectaron tanto sustratos naturales (plantas, rocas) como artificiales (troncos, plástico, vidrio). Cabe mencionar que los sustratos de plástico y vidrio no le proporciona nutrientes adecuados a las especies, pero favorece el crecimiento o la proliferación de los organismos que se adhieren a él, ya que provee de un lugar húmedo e iluminado, en el cual puede tomar los nutrientes disponibles en la columna de agua (Montoya y Aguirre 2013).

Wetzel (2001), menciona que en las relaciones entre el perifiton y la planta como sustrato hay mucho por estudiar, debido a que existe poca certeza entre sus interacciones, especialmente cuando es un factor que regula la distribución de las microalgas sobre las diferentes partes del cuerpo de la planta, pero se conoce que existe una interdependencia entre ambos organismos por el aprovechamiento de los nutrientes. Al respecto Zalocar *et al.* (2013) sugieren que es difícil establecer cuáles son los factores que determinan la presencia, permanencia y abundancia de un organismo o comunidad de organismos en determinado sitio, a pesar de que existan métodos estadísticos que proporcionen información al respecto, pero resulta evidente que, si no existiera la vegetación, no existiría esta comunidad. Hernández *et al.* (2009) mencionan que el amonio, es uno de los compuestos importantes en la distribución de las microalgas del fitoplancton, con respecto al perifiton, además del sustrato, las variables que ordenaron la distribución del peri-

pueden llegar a formar ligeros florecimientos (Komárek y Anagnostidis 2002). Margalef (1983) menciona que son indicadoras de aguas básicas con la dominancia de carbonatos sobre los bicarbonatos, condición descrita por Cansino (2012) para el epilimnio del cráter de Teremendo.

Arcos-Pulido y Gómez-Prieto (2006), mencionan que los organismos del perifiton, se desarrolla mejor en el sustrato que le ofrece estabilidad y donde la acción de la corriente sea mínima, lo anterior ocurre en el sitio uno y seis en el presente trabajo, por la presencia de vegetación acuática sumergida, por lo cual el sustrato epífitico registra una mayor frecuencia de colonización.

El sustrato vegetal, ofrece la transmisión de nutrientes a través de sus raíces. Existe evidencia de que las plantas acuáticas con raíz, funcionan como bombas, transfiriendo el fósforo así como otros nutrientes de los sedimentos a las epífitas y a la columna de agua (Darley 1987). En el lago de Teremendo, en los sectores del humedal

La composición taxonómica de la microflore adherida en el lago cráter de Teremendo está constituida por 119 especies pertenecientes a 12 clases taxonómicas, de las cuales Bacillariophyceae encabeza la diversidad específica precedida por Chlorophyceae y Cyanophyceae. Se registran por primera vez microalgas flageladas en el perifiton pertenecientes a las clases Euglenophyceae, Dinophyceae, Cryptophyceae y Coccolithophyceae.

Los factores abióticos que favorecen la restructuración de la composición taxonómica en la comunidad del perifiton y delimitan cinco nichos fundamentales son: temperatura, pH, alcalinidad total, dureza total y de mag-



fiton fueron: la temperatura, el pH, alcalinidad, dureza total y de magnesio, así como la demanda bioquímica de oxígeno, mientras que en las microalgas fitoplanctónicas Hernández (2012) menciona que la dispersión de dichos organismos en la columna de agua, estuvo marcada por seis variables ambientales: temperatura, conductividad eléctrica, nitrógeno amoniacal, fósforo reactivo, pH y profundidad. Zalocar *et al.* (2013) mencionan que el desarrollo de las algas del perifiton depende de factores abióticos y bióticos que regulan el funcionamiento de sus componentes (bacterias, algas, hongos, animales). En este ensamblaje complejo, la influencia de los factores es variable para cada organismo (Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo 2008), variando

Es frecuente encontrar un menor número de microalgas en ambientes o sectores sometidos a la acidificación, donde también suele haber una declinación de los macrófitos que proveen soporte al perifiton. La mayoría de las cianobacterias son sensibles a valores bajos de pH, ya que no se desarrollan en un pH inferior a cuatro

nesio, así como la demanda bioquímica de oxígeno, además de la selectividad de colonización de sustrato, la cual fue encabezada por el sustrato epifítico y el epilítico.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo económico brindado por la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos del estado de Michoacán, en particular los del tipo cráter.

Referencias

- Arcos-Pulido MP, Gómez-Prieto AC** (2006) Microalgas Perifíticas como indicadores del estado trófico de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Nova* 4(6): 62-79.
- Cansino NR** (2011) Evaluación de la calidad del agua y el estado trófico en el lago cráter de Teremendo, Michoacán, México. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 71 p.
- Carrillo TN** (2012) Evaluación térmica y de los atributos ópticos en tres lagos cráter del estado de Michoacán, México. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 130 p.
- Comas AG** (1996) *Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba*. J. Kramer. Stuttgart Berlin. 100 p.
- Conforti V** (1986) *Euglenophyta*. Strauss Offsetdruck GMBH. Alemania. 301 p.
- Correa PG, Vargas F, Bravo SL, Sánchez-Díaz G, Antaramián E, Madrigal X, Arévalo A, Vargas-Urbe G, Macías M, Correa G, Duran V, Espinoza JM** (2003) *Atlas Geográfico del Estado de Michoacán*. SEP. UMSNH. Ed. Eddisa. México. 308 p.
- Darley WM** (1987) *Biología de las Algas, Enfoque Fisiológico*. Ed. Limusa, México. D.F. 236 p.
- de la Lanza G, Hernández S, Carvajal JL** (2000) *Organismos indicadores de la calidad de agua y de la contaminación (Bioindicadores)*. Plaza y Valdés S. A. de C. V., México. 633 p.
- Dokulil MT, Teubner K** (2000) Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia* 438: 1-12.
- Estevez FA** (1998) *Fundamentos de Limnología*. Interciencia/ FINEP. Río de Janeiro. 575 p.
- García E** (1988) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. 4ª ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 243 p.
- Garduño-Monroy VH, Corona-Chávez P, Israde-Alcantara I, Mennella L, Arreygue E, Bigoggero B, Chiesa S** (1999) *Carta Geológica de Michoacán Escala 1:250,000*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 111 p.
- Graham LE, Wilcox LW** (2000) *Algae*. Prentice Hall. Upper Saddle River. 640 p.
- Guiry MD, Guiry GM** (2015) *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 30 January 2015.
- Hernández-Morales R, Ortega-Murillo MR, Sánchez-Heredia JD, Alvarado-Villanueva R, Aguilera-Ríos MS** (2009) Ocurrencia nictimeral del fitoplancton en la época de lluvia en el lago tropical profundo de Tacámbaro, Michoacán, México. *Biológicas* 11: 48-55.
- Hernández MR** (2011) Fitoplancton de los lagos cráter de Michoacán, México. *Tesis de Maestría*. Facultad de Biología UMSNH. Morelia, Michoacán. 249 p.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]** (1979) *Carta Edafológica*. 1:50,000 E14-A12. Coeneo de la Libertad.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]** (1982) *Carta Geológica*. 1:50,000. E14-A12. Coeneo de La libertad.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística Geografía, e Informática]** (1999) *Carta Hidrológica de aguas superficiales*. 1:100,000; Michoacán.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]** (2006) *Anuario Estadístico del Estado de Michoacán*.
- John MD, Whittom BA, Brook AJ** (2002) *The freshwater algae flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae*. Cambridge University Press. 702 p.
- Komárek J, Anagnostidis K** (2001) *Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales*. Spektrum Akademischer Verlag. 548 p.
- Komárek J, Anagnostidis K** (2002) *Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales*. Spektrum Akademischer Verlag. 759 p.
- Kramer K, Lange-Bertalot H** (1986) *Bacillariophyceae*. Teil 1: *Naviculaceae*. Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/1: 876 p.
- Kramer K, Lange-Bertalot H** (1988) *Bacillariophyceae*. Teil 2: *Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae*. Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/2: 596 p.
- Kramer K, Lange-Bertalot H** (1991a) *Bacillariophyceae*. Teil 3: *Centrales, Fragillariaceae, Eunotiaceae*. Gustav. Fischer Verlag. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/3: 576 p.
- Kramer K, Lange-Bertalot H** (1991b) *Bacillariophyceae*. Teil 4: *Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Teil 4 Gustav. Fischer Verlag Stuttgart. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/4: 438 p.
- Krammer K** (2000) The genus Pinnularia. In H Lange-Bertalot (ed), *Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats, Vol 1*. ARG Gantner Verlag KG, Ruggell, Liechtenstein, p 703
- Krammer K** (2002) Cymbella. In H Lange-Bertalot (ed), *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats, Vol 3*. ARG Gantner Verlag KG, Ruggell, Liechtenstein, p 514.
- McCune B, Mefford MJ** (1999) *Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 4.10 Mj M [Software], Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Margalef** (1983) *Limnología*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 1010 p.
- Martínez de Fabricius AL** (2000) Las Algas Indicadoras de la calidad del agua. *INTERCIENCIA, Boletín de divulgación científica*

de la UNRC 4:(1-4).

Martinez A, Asencio AD (2010) Distribution of cyanobacteria at the Gelada Cave (Spain) by physical parameters. *Journal of Cave and Karst Studies* 72(1): 11–20.

Medrano ZF (2011) Caracterización Limnológica del Lago Cráter de Teremendo Michoacán, México. *Tesis de Maestría*. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 148 p.

Montoya MY, Ramírez RJJ (2007) Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 55(2): 585-593

Montoya Y, Aguirre N (2013) Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente* 16(3):

91-117

Oliver RL, Granf GG (2000) Freshwater blooms. In BA Whitton, M Potts (eds), *The Ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space*. Kluwer Academic Publisher Dordrecht. pp 149-194

Schwoerbel J (1975) *Methoden der Hydrobiologie*. H. Blume Ediciones. España, 261 p.

Wetzel RG (1981) *Limnología*. Omega S.A., Barcelona, España. 679 p.

Wetzel RG (2001) *Limnology*. Third edition. Academic Press. San Diego California USA. 1006 p.

Zalocar Y, Neiff JJ, Vallejos SV (2013) Factores que Regulan la Distribucion y Abundancia del Perifiton en Ambientes Lenticos. In A Schwarzbald, AM Miranda, L Torgan (eds), *Ecología do Perifiton*. Editora RIMA, pp 103-130