



Diagnosis prospectiva sobre la diversidad de diatomeas epilíticas en la laguna Bacalar, Quintana Roo, México

A prospective diagnosis of epilithic diatom diversity in Bacalar Lagoon, Quintana Roo, Mexico

David A. Siqueiros-Beltrones¹✉, Uri Argumedo-Hernández² y Oscar U. Hernández-Almeida³

¹Departamento Plancton y Ecología Marina, CICIMAR-Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n Col. Playa Palo de Santa Rita, 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

²Departamento Economía, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Km 5.5. Carretera al Sur, 23081 La Paz, Baja California Sur, México.

³Laboratorio de Producción Primaria, CINVESTAV- Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. Carretera Antigua a Progreso, Km 6. 97310 Mérida, Yucatán, México.

✉ dsiquei@ipn.mx

Resumen. Recientemente, la laguna Bacalar, Quintana Roo ha sido objeto de creciente interés por su elevado potencial ecoturístico y científico, debido a la presencia de microbialitos (trombolitos y estromatolitos). Sin embargo, las actividades turísticas y agrícolas circundantes representan potenciales riesgos de contaminación que ameritan atención. El monitoreo ecológico oportuno representa una alternativa para el adecuado manejo de estos ecosistemas. Una base florística confiable de diatomeas ofrece un punto de referencia efectivo para la detección de contingencias ambientales. Con base en esta premisa se emprendió este estudio exploratorio de las asociaciones de diatomeas bentónicas que habitan sobre los microbialitos. Se identificaron 68 taxa de diatomeas epilíticas y se proporciona una referencia florística e iconográfica de la mayoría de éstas. Once taxa son los primeros registros para aguas continentales de México. La riqueza de especies observada sugiere una alta diversidad. No obstante, la frecuencia y abundancia de taxa de diatomeas de amplia distribución, como *Denticula elegans*, *D. kuetzingii* y *Nitzschia amphibia* quizá dificultó apreciar dicha diversidad. Las diatomeas registradas en nuestro estudio representaron solamente parte de un sustrato microbialítico no vivo, es necesario ampliar la labor de inventario haciendo muestreos en otros sustratos, incluyendo los tapetes de cianobacterias relacionados con los microbialitos.

Palabras clave: aguas continentales, contaminación, diatomeas bentónicas, florística, microbialitos.

Abstract. Recently Bacalar lagoon, Quintana Roo has received much attention because of its high eco-touristic and scientific potential due to the presence of microbialites (thrombolites and stromatolites). Nonetheless, the surrounding tourist and agricultural activities represent potential pollution risks that deserve our concern. Opportune ecological monitoring represents an alternative for the adequate managing of these ecosystems. A reliable floristic basis of diatoms renders an effective reference for the detection of environmental contingencies. Thus an exploratory study of benthic diatom associations that live on the microbialites was undertaken. Sixty eight diatom taxa were identified and floristic and iconographic references for most of these are provided. Eleven taxa are recorded for the first time in Mexican fresh-water bodies. The observed species richness suggests a high diversity. However, the frequency and abundance of widely distributed diatom taxa such as *Denticula elegans*, *D. kuetzingii* and *Nitzschia amphibia* could have hindered the appreciation of said diversity. The diatoms here recorded represent solely a non-living microbialithic substrate. It is thus necessary to widen the inventory to include taxa living in other substrata and in the cyanobacterial mats related to the microbialites.

Key words: freshwater, pollution, benthic diatoms, floristics, microbialites.

Introducción

Cualquier programa de conservación puede fundamentarse mejor en el conocimiento de la

biodiversidad. Las diatomeas son uno de los grupos de organismos más diversos, tanto en ambientes marinos como dulceacuícolas, y han sido utilizados efectivamente para evaluar la calidad de aguas continentales (Wojtal y Sobczyk, 2012). Una referencia florística confiable de diatomeas permite hacer diagnósticos fundamentados

sobre el estado ecológico de las aguas continentales, así como establecer programas de monitoreo. No obstante, el interés por conocer y utilizar la flora de diatomeas para monitoreo de ríos, lagos (naturales y artificiales) y arroyos en países desarrollados, precede significativamente los esfuerzos hechos en México. Así, para muchos de los estados no se tiene todavía información relativa a su ficoflora dulceacuícola (Novelo y Tavera, 2011). Aunque desde hace varias décadas existe un creciente interés por desarrollar una base florística comprensiva de diatomeas que muestre la diversidad de diatomeas en México, y sirva como referencia para evaluar la calidad del agua (Siqueiros-Beltrones, 2002). A la fecha se han generado inventarios florísticos (Ortega, 1984; Cantoral-Uriza et al., 1997; Ibarra-Vázquez y Novelo, 1997; Ramírez-Vázquez et al., 2005), estudios que definen grupos ecológicos de diatomeas (Cantoral-Uriza et al., 1999; Bojorge-García y Cantoral-Uriza, 2007), investigaciones florísticas formales con connotación biogeográfica (Oliva-Martínez et al., 2005; Novelo et al., 2007) y comparaciones de la estructura de diatomeas bentónicas de acuerdo con sus hábitos y las condiciones ambientales (Ibarra et al., 2009). Asimismo, otros sistemas dulceacuícolas otrora soslayados se han incorporado en las investigaciones con miras hacia su conservación, como los oasis de Baja California Sur, partiendo de inventarios preliminares (Siqueiros-Beltrones, 2002) y escalando los estudios mediante la definición de grupos ecológicos de diatomeas que han permitido derivar un diagnóstico ambiental de éstos sobre la base de más de 240 especies registradas (Siqueiros-Beltrones, 2002; López-Fuerte, 2010).

Para seguir sumando al conocimiento de la diversidad de diatomeas, hemos dirigido nuestro enfoque hacia la laguna Bacalar, Quintana Roo. Recientemente, ésta ha sido objeto de creciente interés científico y socioeconómico. Se trata de un extenso cuerpo de agua dulce, pero con elevadas concentraciones de carbonatos (Gischler et al., 2008). Se extiende 40 km en paralelo a la costa del estado; cuenta con varios cenotes, típicos de la península de Yucatán, lo que refleja la naturaleza cárstica de la región (Pérez-Ceballos, 2011). Un gran atractivo de la laguna Bacalar es la presencia de conspicuos microbialitos (Fig. 1); cerca de 10 km de estructuras arrecifales que incluyen estromatolitos y oncolitos, pero principalmente trombolitos. Los primeros han sido objeto de estudios científicos, tanto sedimentológicos como hidrológicos. De éstos se describen los productores primarios más evidentes, como cianobacterias formadoras de tapetes; además de diatomeas bentónicas que sustentan abundantes poblaciones de gasterópodos (Gischler et al., 2008; 2011); las diatomeas han sido reconocidas como participantes activas en la formación de microbialitos (Winsborough



Figura 1. Estromatolito en el balneario Cocalitos, Bacalar, Quintana Roo.

y Golubic, 1987), pero en esta laguna se desconoce la diatomoflora.

En general, los estudios formales sobre diatomeas bentónicas en ambientes cársticos en el Caribe y América Central son escasos (Novelo et al., 2007; Ibarra et al., 2009; La Hée, 2010), mientras que los registros de diatomeas bentónicas de los estudios con microbialitos en la laguna Bacalar han sido incidentales y carecen de enfoque taxonómico o siquiera florístico. De ahí que, durante enero de 2012, se hizo un muestreo con el objetivo de llevar a cabo el primer estudio florístico de diatomeas bentónicas que habitan las formaciones microbialíticas (trombolitos y estromatolitos) que caracterizan la laguna de Bacalar.

Materiales y métodos

Se recolectaron 6 fragmentos de microbialitos de aproximadamente 500 g cada uno, desprendidos por la erosión: 3 en el balneario Cocalitos y 3 en el sitio Casita Carolina (Fig. 2) y se guardaron en fresco. En el laboratorio, los fragmentos se cepillaron aproximadamente 40 cm² por sitio con un cepillo de dientes de cerdas medianas y se lavaron con agua embotellada. La suspensión resultante se sometió a tratamiento mediante oxidación con ácido nítrico y alcohol comercial (Siqueiros-Beltrones, 2002). Posteriormente, las muestras se lavaron con agua purificada comercial hasta un pH > 6. Una parte de las muestras se utilizó para hacer montajes permanentes con Pleurax (IR= 1.7). Las laminillas se observaron bajo un microscopio compuesto con contraste de fases a 1000x. Para coadyuvar en la identificación y permitir la comparación florística, se tomaron microfotografías de los taxa mediante un ocular fotográfico digital CMOS Konus.

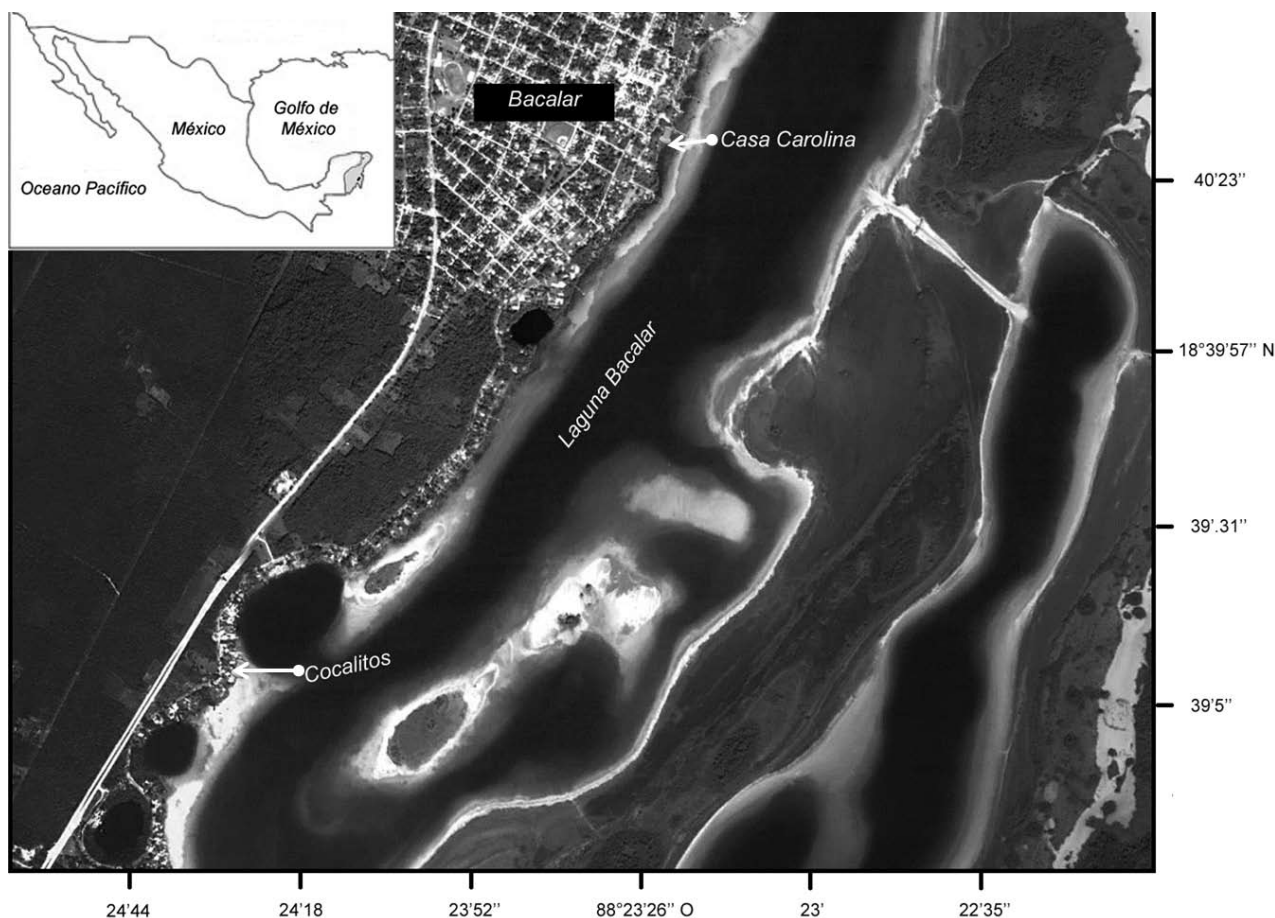


Figura 2. Laguna Bacalar y sitios de muestreo: Casa Carolina y balneario Cocalitos, ubicados en la carretera costera.

La otra parte de la muestra se preparó para microscopía electrónica de barrido (MEB); a la muestra limpia y lavada se le cambió el agua por alcohol etílico al 99% y sobre un pedestal de aluminio, previamente recubierto con cinta de cobre, se adicionó una gota del concentrado de la muestra, la cual se dejó secar por 2 horas. Posteriormente, la muestra fue recubierta con una mezcla metálica de oro-paladio en una evaporadora de alto vacío Polaron SC7640. Las observaciones se hicieron en un microscopio electrónico de emisión de campo Jeol JSM-7600F, que se operó a 2 kv con inclinación de 0-45° y en modo haz suave para obtener una mejor resolución.

La identificación de las diatomeas se hizo con base en los trabajos de Schmidt et al. (1874-1959), Hustedt (1930, 1959, 1961-1966), Krammer y Lange-Bertalot (1986), Navarro y Torres (1987), Krammer y Lange-Bertalot (1988, 1991), Metzeltin y Witkowski (1996), Metzeltin y Lange-Bertalot (1998), Rumrich et al. (2000), Siqueiros-Beltrones (2002), Metzeltin y García-Rodríguez (2003), Novelo et al. (2007), La Hée (2010) y López-Fuerte (2010).

Se hizo un conteo (N= 400) de especies en las muestras para determinar la abundancia del taxón dominante y otro (N= 200) para obtener una aproximación preliminar de la diferencia en estructura de las asociaciones de diatomeas epilíticas entre los sitios.

Resultados

Se identificaron 68 especies de diatomeas epilíticas (Cuadro 1). Se presentan imágenes para 57 de los taxa bajo microscopía óptica y de 19 con MEB (Figs. 3-109), de acuerdo con la manera aproximada en que se observaron agrupadas en las preparaciones. Nueve taxa se identificaron sólo a género y once taxa son primeros registros para aguas continentales de México, incluyendo la especie marina *Amphora sulcata* (Cuadro 1, Fig. 49).

Denticula elegans (Figs. 71-73, 79-83) representó entre el 47 y 79% de las diatomeas contabilizadas (N= 400) en 4 submuestras (N= 100). *Denticula kuetzingii* (Fig. 74) y *N. amphibia* (Figs. 67-70, 78, 105) fueron

Cuadro 1. Diatomeas identificadas en fragmentos de microbialitos de la laguna Bacalar, Quintana Roo, México. Primeros registros para aguas continentales de México (*)

<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	<i>Gomphonema vibrioides</i> E. Reichardt et Lange-Bertalot
<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki (v. Novelo et al., 2007)	* <i>Hantzschia virgata</i> (Roper) Grunow
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman et Archibald	<i>Martyana martyi</i> (Héribaud) Round
* <i>Amphora sulcata</i> Gregory	* <i>Mastogloia</i> cf. <i>patens</i> Frenguelli
<i>Brachysira neoexilis</i> Lange-Bertalot	<i>Mastogloia elliptica</i> (C. Agardh) Grunow
<i>Brachysira microcephala</i> Grunow	<i>Mastogloia dansei</i> (Thwaites) Thwaites ex Smith
* <i>Brachysira procera</i> Lange-Bertalot et Moser	<i>Mastogloia lacustris</i> (Grunow) Grunow in van Heurck
* <i>Caloneissilicula</i> var. <i>peisonis</i> Hustedt	<i>Mastogloia smithi</i> Thwaites
<i>Caloneis</i> sp. 1	<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot
<i>Caloneis</i> sp. 2	<i>Navicula digitoradiata</i> (Gregory) Ralfs
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Cleve(v. Novelo et al., 2007)	* <i>Navicula limata</i> Hustedt
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow	<i>Navicula podzorskii</i> Lange-Bertalot
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	<i>Navicula radiosa</i> Kützing
* <i>Cyclotella</i> cf. <i>operculata</i> (Agardh) Kützing	* <i>Navicula</i> cf. <i>santae-crucis</i> Østrup
<i>Delicata delicatula</i> (Kützing) Krammer	<i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfitzer
<i>Denticula elegans</i> Kützing	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow
<i>Denticula kuetzingii</i> Grunow	<i>Nitzschia lacunarum</i> Hustedt
<i>Diploneis oblongella</i> (Nägeli) Cleve-Euler	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith
<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve	* <i>Nitzschia serpentiraphe</i> Lange-Bertalot
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	<i>Nitzschia</i> sp. 1
<i>Diploneis</i> sp. 1	<i>Nitzschia</i> sp. 2
<i>Diploneis</i> sp. 2	<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve
<i>Diploneis</i> sp. 3	<i>Pinnularia neomajor</i> Krammer
<i>Encyonema densistriata</i> Novelo, Tavera et Ibarra	* <i>Pinnularia</i> cf. <i>nitzschiofila</i> U. Rumrich, Metzeltin et Lange-Bertalot
<i>Encyonema mesianum</i> (Cholnoky) Krammer	<i>Pinnularia subgibba</i> var. <i>capitata</i> Metzeltin et Lange-Bertalot
<i>Encyonema neogracile</i> Krammer	<i>Pinnularia</i> sp. 1
<i>Encyonopsis microcephala</i> (Grunow) Krammer	<i>Pinnularia</i> sp. 2
<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot	<i>Psammothidium chlidanos</i> (Hihn et Hellermann) Lange-Bertalot
* <i>Eunotia biseriata</i> Hustedt	<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky
<i>Eunotia incisa</i> Gregory	<i>Sellaphora</i> sp. 1
<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg	<i>Sellaphora</i> sp. 2
<i>Fragilaria famelica</i> (Kützing) Lange-Bertalot	<i>Sellaphora stroemii</i> (Hustedt) D.G. Mann
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	<i>Stephanodiscus medius</i> Håkanson
<i>Gomphonema subclavatum</i> var. <i>mexicanum</i> (Grunow) Patrick	<i>Ulnaria delicatissima</i> var. <i>angustissima</i> (Grunow) Aboal et P.C. Silva

frecuentes. El conteo comparativo preliminar (N= 200) sugiere diferencias en la composición y estructura de las asociaciones de diatomeas, *i.e.* diversidad (Cuadro 2). Esto se atribuye principalmente a un mayor número de especies (S) en Cocalitos que compensa la dominancia de *D. elegans*, la presencia diferencial de taxa como *Brachysira neoexilis* (Figs. 55, 91) y *Cyclotella* cf. *operculata* (Fig. 24) y 12 taxa no compartidos entre los sitios.

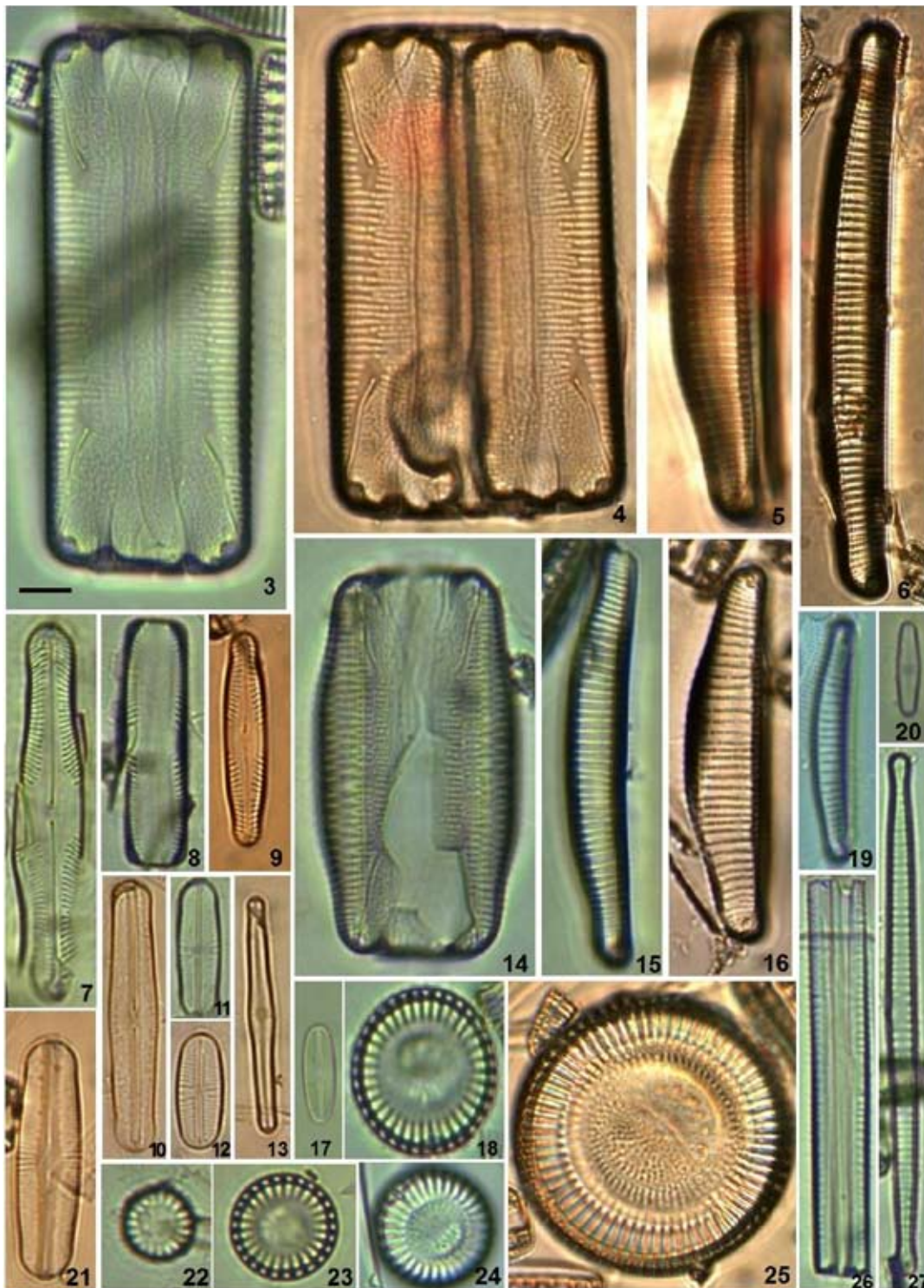
Discusión

Las referencias florística e iconográfica permitirán comparaciones de índole taxonómica, tanto para la determinación de los taxa no identificados como para

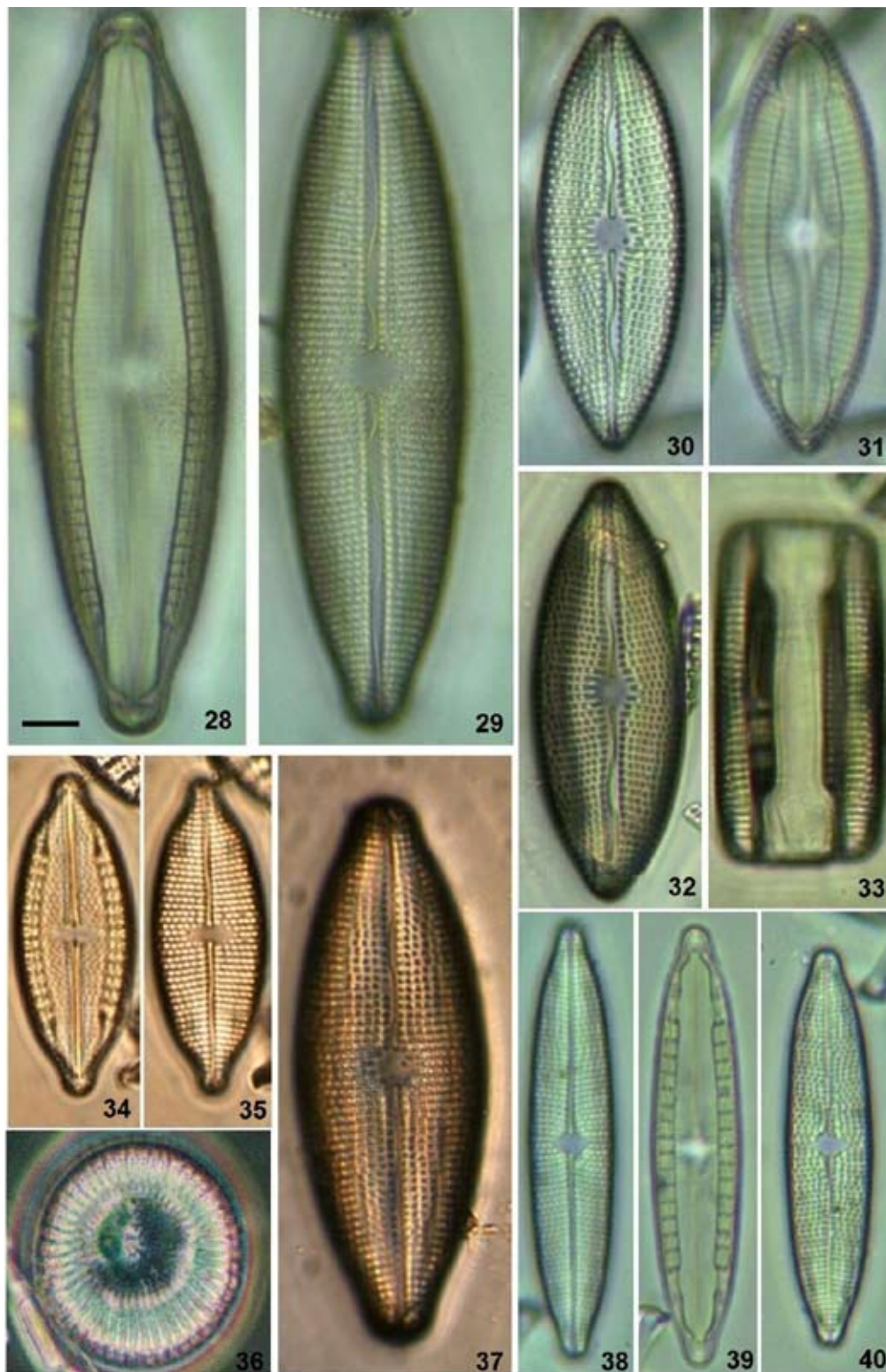
estudios subsecuentes florístico y ecológicos más comprensivos enfocados al monitoreo de este tipo de ambientes.

Considerando que solamente se muestrearon 2 sitios, el número de especies identificadas es indicador de una alta riqueza de especies (Cuadro 2). Esto a menudo se soslaya cuando se presentan especies muy numerosas (dominantes) como *D. elegans*. En contraste, Novelo et al. (2007) registraron 156 taxa en ambientes cársticos de la región, pero en 151 muestras examinadas. Mientras que La Hée (2010) registró 146 taxa en 36 sitios de muestreo de 3 ambientes similares de El Caribe.

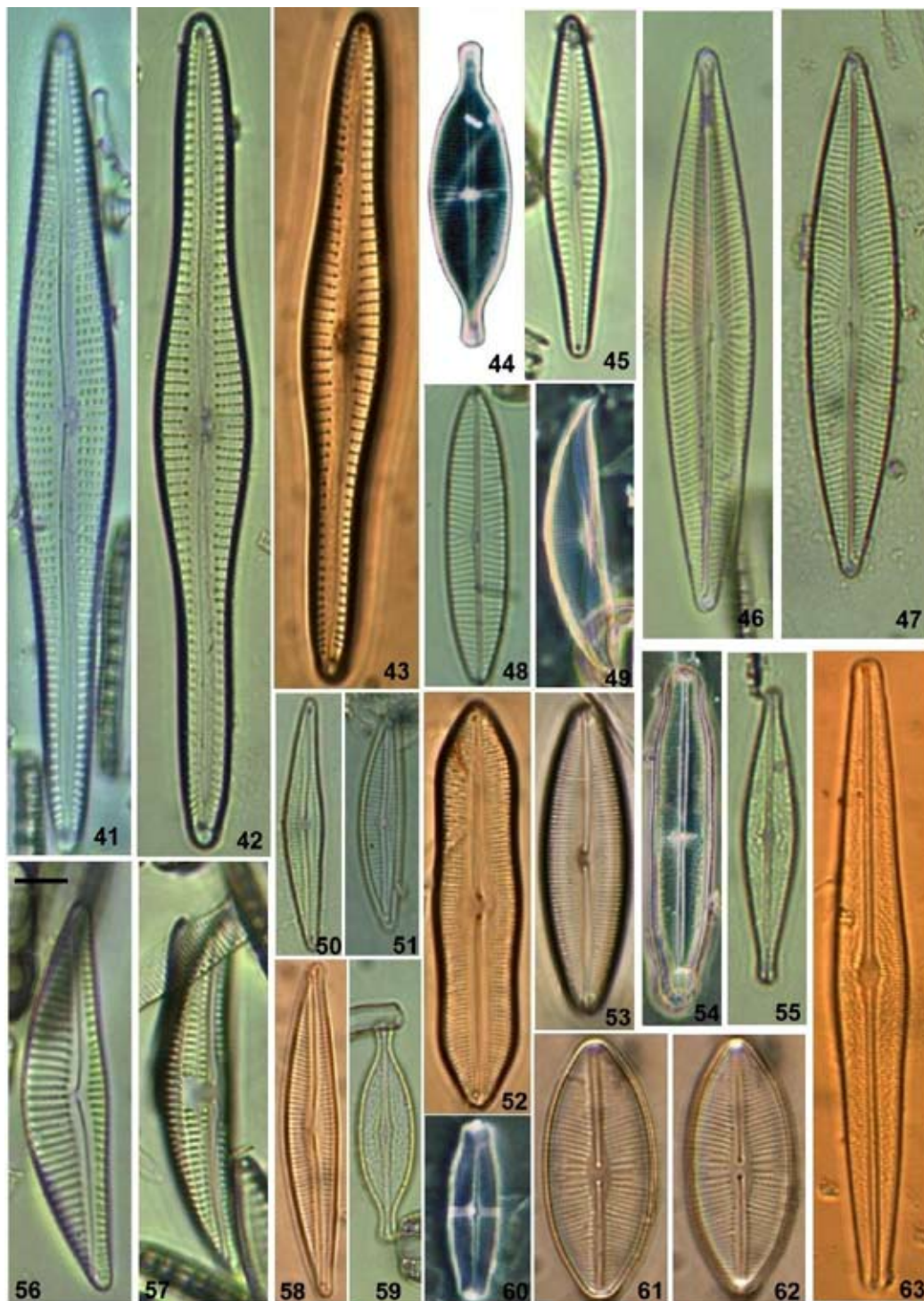
No obstante la diferencia en número total de especies registrado por Novelo et al. (2007), la composición fue en



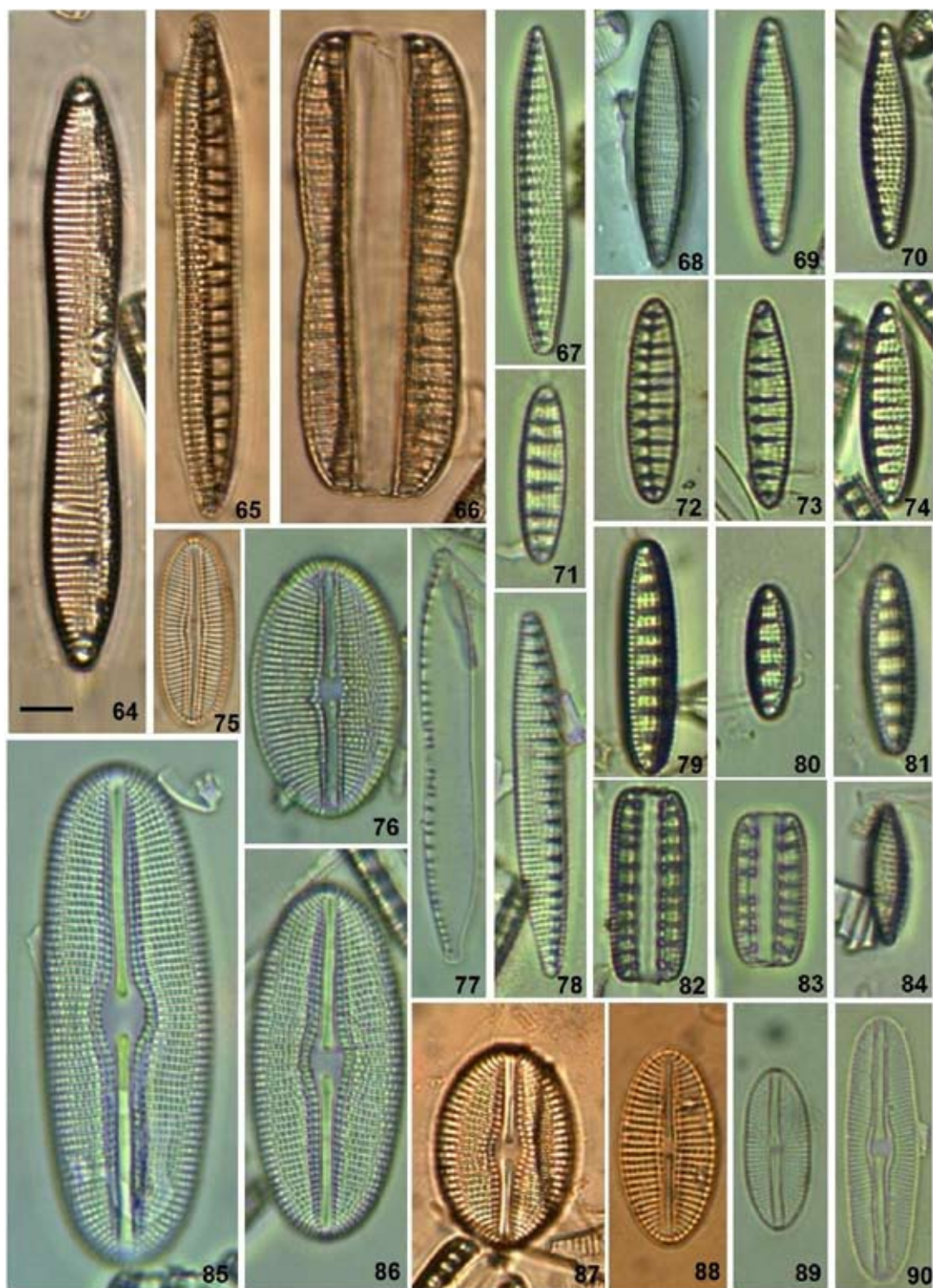
Figuras 3-27. Taxa representativos de diatomeas encontrados sobre microbialitos de laguna Bacalar. Microscopía óptica con contraste de fases. Ejemplares en vista valvar, salvo cuando se indica vista conectiva (VC). Barra= 10µm; 3, 4), VC; 5), *Eunotia biseriata*; 6), *E. formica*; 7), *Pinnularia* sp. 2; 8), *Pinnularia* sp. 1; 9), *P. cf. nitzschiophila*; 10), *Sellaphora* sp. 1; 11, 12), *Eolimna minima*; 13, 20), *Achnanthisdium minutissimum*; 14), VC; 15, 16), *E. biseriata*; 17), *Psamothidium chlidanos*; 18, 22, 23), *Cyclotella meneghiniana*; 19), *E. incisa*; 21), *Sellaphora* sp. 2; 24), *Cyclotella cf. operculata*; 25), *C. striata*; 26), VC; 27), *Fragilaria famelica*.



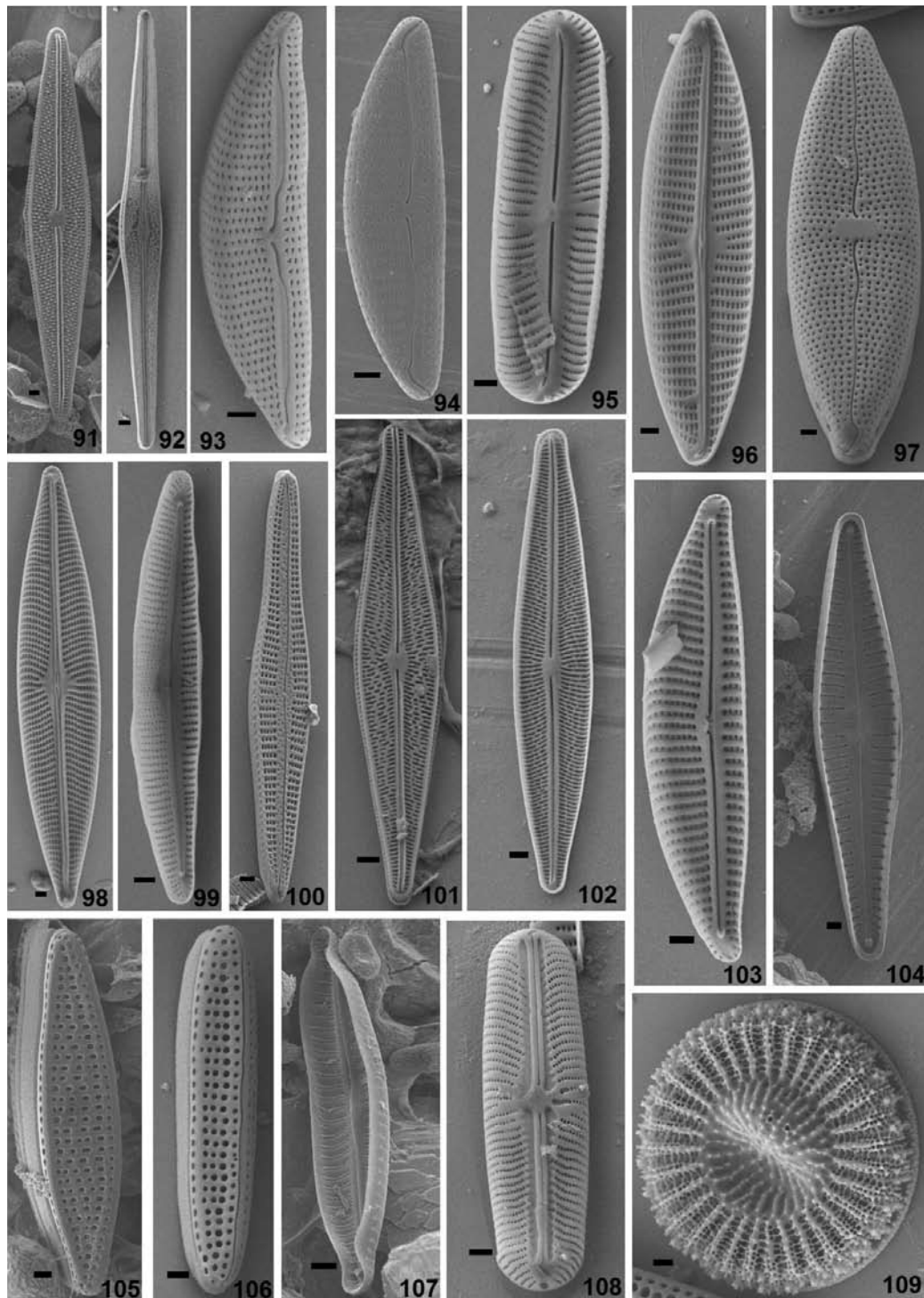
Figuras 28-40. Taxa representativos de diatomeas encontrados sobre microbialitos de laguna Bacalar. Microscopía óptica con contraste de fases. Ejemplares en vista valvar, salvo cuando se indica vista conectiva (VC). Barra= 10µm; 28, 29), *Mastogloia* cf. *patens*; 30- 33), VC, *M. elliptica*; 34, 35), *M. smithi*; 36), *Stephanodiscus medius*; 37), *M. dansei*; 38-40), *M. lacustris*.



Figuras 41-63. Taxa representativos de diatomeas encontrados sobre microbialitos de Laguna Bacalar. Microscopía óptica con contraste de fases. Ejemplares en vista valvar, salvo cuando se indica vista conectiva (VC). Barra= 10µm; 41), *Gomphonema gracile*; 42, 43), *G. vibrioides*; 44), *Navicula* cf. *santae-crucis*; 45), *G. subclavatum* var. *mexicanum*; 46, 47), *N. podzorskii*; 48), *N. cryptotenella*; 49), *Amphora sulcata*; 50, 58), *Delicata delicatula*; 51), *Encyonema densistriata*; 52), *Caloneis* sp. 1; 53), *Caloneis silicula* var. *peisonis*; 54), *Neidium affine*; 55), *Brachysira neoexilis*; 56), *Encyonema mesianum*; 57), *Amphora copulata*; 59), *Brachysira microcephala*; 60), *Caloneis* sp. 2; 61, 62), *Navicula limata*; 63), *Brachysira procera*.



Figuras 64-89. Taxa representativos de diatomeas encontrados sobre microbialitos de Laguna Bacalar. Microscopía óptica con contraste de fases. Ejemplares en vista valvar, salvo cuando se indica vista conectiva (VC). Barra= 10µm; 64), *Nitzschia* sp. 2; 65), *N. serpentiraphe*; 66), VC, *Hantzschia virgata*; 67-70, 78), *N. amphibia*; 71-73, 79-83), VC, *Denticula elegans*; 74), *D. kuetzingii*; 75, 90), *Diploneis oblongella*; 76), *Diploneis* sp. 2; 77), *Nitzschia lacunarum*; 84), *Nitzschia* sp. 1; 85), *Diploneis elliptica*; 86, 87), *Diploneis subovalis*; 88), *Diploneis* sp. 3; 89), *Diploneis* sp. 1.



Figuras 91-109. Taxa representativos de diatomeas encontrados sobre microbialitos de laguna Bacalar. Microscopía electrónica de barrido. Barra= 1µm; 91), *Brachysira neoexilis*; 92), *B. procera*; 93), *Encyonema neogracile*; 94), *E. mesianum*; 95), *Sellaphora stroemii*; 96), *Navicula cryptotenella*; 97), *Mastogloia elliptica*; 98), *Navicula podzorskii*; 99), *Delicata delicatula*; 100), *Gomphonema vibrioides*; 101), *Brachysira microcephala*; 102), *Navicula radiosa*; 103), *Encyonema densistriata*; 104), *Gomphonema subclavatum* var. *mexicanum*; 105), *Nitzschia amphibia*; 106), *Nitzschia* sp. 1; 107), *Encyoniopsis microcephala*; 108), *Sellaphora pupula*; 109), *Stephanodiscus medius*.

Cuadro 2. Inventario comparativo de los taxa de diatomeas epilíticas entre los 2 sitios muestreados en la laguna de Bacalar (N= 200)

Taxón	Casa Carolina	Cocalitos
1. <i>Denticula elegans</i>	67	49
2. <i>Encyonema densistriata</i>	9	18
3. <i>Achnanthydium minutissimum</i>	3	9
4. <i>Denticula kuetzingii</i>	3	2
5. <i>Gomphonema subclavatum</i> v. <i>mexicanum</i>	2	0
6. <i>Delicatula delicata</i>	2	3
7. <i>Hantzschia virgata</i>	1	1
8. <i>Navicula podzorskii</i>	1	0
9. <i>Nitzschia amphibia</i>	1	2
10. <i>Sellaphora</i> sp. 1	1	0
11. <i>Brachysira neoexilis</i>	0	9
12. <i>Cyclotella</i> cf. <i>operculata</i>	0	4
13. <i>Encyonopsis microcephala</i>	0	3
14. <i>Gomphonema vibrioides</i>	0	3
15. <i>Mastogloia smithii</i>	0	2
16. <i>Navicula cryptotenella</i>	0	2
17. <i>Navicula radiosa</i>	0	1
18. <i>Diploneis subovalis</i>	0	1
19. <i>Brachysira microcephala</i>	0	1

parte similar a lo observado en humedales de ambientes cársticos de la península de Yucatán y en particular para cenotes, v.g., taxa comunes como *Brachysira microcephala* (Fig. 59), *E. densistriata* (Figs. 51, 103), *E. mediana* (Figs. 56, 94), *Mastogloia lacustris* (Figs. 38-40) y *Navicula podzorski* (Figs. 46, 47, 98). Sin embargo, destaca la ausencia de especies de *Epithemia*, *Rhopalodia*, *Surirella* y *Craticula*, entre otras. Esto, aunado a la abundancia de *D. elegans*, es sugestivo de variaciones espacio temporales que habrán de considerarse en estudios más comprensivos.

La importancia de sistemas dulceacuícolas puede ser reconocida, ya sea por su utilización en el suministro de agua potable o como atractivo recreativo y turístico; su monitoreo oportuno representa una alternativa para su adecuado manejo; una base florística de diatomeas bentónicas ofrece un punto de referencia efectivo para la detección de contingencias ambientales. Aunque las diatomeas epilíticas son buenas indicadoras de la calidad del agua (Wojtal y Sobczyk, 2012), deberá determinarse si la frecuencia y abundancia de taxa ampliamente distribuidos como *D. elegans*, *D. kuetzingii* y *N. amphibia* (Krammer y Lange-Bertalot, 1988; Novelo et al., 2007)

reflejan condiciones no alteradas o de bajo impacto antropogénico. Asimismo, *A. sulcata* ha sido registrada en el Caribe como indicadora de baja concentración de fósforo total (La Hee, 2010), igualmente en ambientes cársticos. Esta especie común en humedales cársticos del sureste mexicano es considerada de ambiente marino y podría reflejar las elevadas concentraciones de carbonatos en la laguna Bacalar (Gischler et al., 2008).

La laguna Bacalar debe su reconocimiento científico a los extensos microbialitos que alberga y en donde abundan diatomeas que pueden observarse entre los filamentos de cianobacterias (Gischler et al., 2011). Las diatomeas son reconocidas como importantes en la formación de microbialitos (Winsborough y Golubic, 1987), perlas registradas en nuestro estudio representan sustrato microbialítico no vivo y no corresponden con las formas que se aprecian en las imágenes de Gischler et al. (2011), las cuales corresponden a tapetes de cianofitas asociados a los microbialitos. Asimismo, las diferencias estructurales en las asociaciones de los 2 sitios muestreados no se explican con una base estadística adecuada; sin embargo, sugieren que la definición de microhábitats en la laguna Bacalar cuyas condiciones ambientales particulares determinen la presencia de ciertos taxa como se ha observado en humedales cársticos de la región (Ibarra et al., 2009); ello habrá de redituarse una riqueza mucho mayor de especies de diatomeas bentónicas en general.

Es necesario también, hacer un inventario de diatomeas que habitan otros sustratos, además de los tapetes de cianobacterias asociadas a la formación de microbialitos en la laguna. La riqueza de especies de diatomeas en localidades ecológicamente relevantes como en la laguna Bacalar, demanda estudios taxonómicos exhaustivos que incluyan descripciones de los taxa y de sus hábitats, así como referencias biogeográficas.

Agradecimientos

A Eberto Novelo por sus precisas observaciones a un manuscrito anterior. Asimismo, a los 3 revisores anónimos por sus objetivas observaciones. El primer autor es becario EDI (programa de Estímulo al Desempeño de los Investigadores) y de la COFAA (Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas)-IPN, con cuyo apoyo se realizó el muestreo.

Literatura citada

Bojorge-García, M.G. y E.A. Cantoral-Uriza. 2007. Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el Río Magdalena, D. F. Hidrobiológica 17:11-24.

- Cantoral-Uriza, E., J. Carmona y G. Montejano. 1997. Diatoms of calcareous tropical springs in the central region of Mexico. *Cryptogamie Algologie* 18:19-46.
- Cantoral-Uriza, E., J. Carmona, G. González y G. Montejano. 1999. Algas indicadoras de la calidad del agua en el río Magdalena, Delegación Magdalena Contreras, D. F. *In* Consejo de estudios para la restauración y valoración ambiental (aire-agua), tomo I, N. D. Ponce y M. V. Alegre (eds.). Gobierno del Distrito Federal, México, D. F. p. 299-332.
- Gischler, E., M. A. Gibson y W. Oschmann. 2008. Giant Holocene freshwater microbialites, Laguna Bacalar, Quintana Roo, Mexico. *Sedimentology* 55:1293-1309.
- Gischler, E., S. Golubic, M. A. Gibson, W. Oschmann y J. H. Hudson. 2011. Microbial mats and microbialites in the freshwater Laguna Bacalar, Yucatán Peninsula, Mexico. *In* Advances in stromatolite geobiology, J. Reitner, N. V. Quéric y G. Arp (eds.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-10415-2_13; última consulta 5.VI.2012.
- Hustedt, F. 1930. Bacillariophyta. *In* Die süsswasserflora mitteleuropas, A. Pascher. Otto Koeltz Science Pub. Jena, Alemania. 466 p.
- Hustedt, F. 1959. Die kieselalgen Deutschlands, Osterreichs and der Schweiz. *In* Kryptogammen-Flora. VII Band, II Teil, L. Rabenhorts (ed.). Koeltz Scientific Book (reimpresión 1991). Dehra Dun, India. 845 p.
- Hustedt, F. 1961-1966. Diekieselalgen Deutschlands, Osterreichs and der Schweiz. *In* Kryptogammen-Flora. VII Band, III Teil. L. Rabenhorts (ed.). Koeltz Scientific Book (reimpresión 1991). Dehra Dun, India. 916 p.
- Ibarra-Vázquez, C. y E. Novelo. 1997. Diatomeas de Texcala, Puebla. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61:49-57.
- Ibarra, C., R. Tavera y E. Novelo. 2009. Diversity and structure of periphyton and metaphyton diatom communities in atropical wetland in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:763-769.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1986. Bacillariophyceae, 1 Teil: Naviculaceae. Band 2/1 von Süßwasserflora von Mitteleuropa. H. J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (eds.). Gustav Fischer Verlag. Jena, Alemania. 876 p.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1988. Bacillariophyceae, 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Band 2/2 von Süßwasserflora von Mitteleuropa. H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (eds.). Gustav Fischer Verlag. Jena, Alemania. 536 p.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1991. Bacillariophyceae, 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Band 2/3 von Süßwasserflora von Mitteleuropa. H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (eds.). Gustav Fischer Verlag. Jena, Alemania. 576 p.
- La Hée, J. M. 2010. The influence of phosphorus on periphyton mats from the everglades and three tropical karstic wetlands. PhD thesis. Florida International University. FIU Electronic Theses and Dissertations. Paper 25. <http://digitalcommons.fiu.edu/etd/251>; última consulta: 1.VIII.2012.
- López-Fuerte, F. O. 2010. Diversidades alfa y beta de diatomeas epilíticas en oasis de Baja California Sur. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. La Paz. 110 p.
- Metzeltin, D. y F. García-Rodríguez. 2003. Las diatomeas uruguayas. D.I.R.A.C. Facultad de Ciencias, Montevideo. 207 p.
- Metzeltin, D. y H. Lange-Bertalot. 1998. Tropical diatoms of South America I. *In* Iconographia Diatomologica Vol. 5, H. Lange-Bertalot (ed.). Koeltz Sci. Books. Königstein. 695 p.
- Metzeltin, D. y A. Witkowski. 1996. Diatomeen der Baren-Insel. *In* Iconographia Diatomologica Vol. 4, H. Lange-Bertalot (ed.). Koeltz Sci. Books. Königstein. 287 p.
- Navarro, N. J. y R. Torres. 1987. Distribution and community structure of marine diatoms associated with mangrove prop roots in the Indian River, Florida. *Nova Hedwigia* 45:101-112.
- Novelo, E. y R. Tavera. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. *Hidrobiológica* 21:333-341.
- Novelo, E., R. Tavera y C. Ibarra. 2007. Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico. *Bibliotheca Diatomologica* 54. J. Cramer. Berlin/Stuttgart. 136 p.
- Oliva-Martínez, M. G., J. G. Ramírez-Martínez, G. Garduño-Solórzano, J. Cañetas-Ortega y M. M. Ortega. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica* 15:1-26.
- Ortega, M. M. 1984. Catálogo de algas continentales recientes de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 561 p.
- Pérez-Ceballos, R., J. Pacheco-Ávila, J. I. Euán-Ávila y H. Hernández-Arana. 2011. Regionalization based on water chemistry and physicochemical traits in the ring of cenotes, Yucatan, Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies* 74:90-102.
- Ramírez-Vázquez, M., Y. Beltrán-Magos, M. Bojorge-García, J. Carmona-Jiménez, E. A. Cantoral-Uriza y F. Valádez-Cruz. 2001. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 68:45-67.
- Rumrich, U., H. Lange-Bertalot y M. Rumrich. 2000. Diatoms of the Andes. A. R. G. Gantner Verlag K. G. Ruggell. Ruggell, Alemania. 673 p.
- Schmidt, A., M. Schmidt, F. Fricke, H. Heiden, O. Muller y F. Hustedt. 1874-1959. *Atlas der Diatomaceenkunde*. Reiland, Leipzig.
- Siqueiros-Beltrones, D. A. 2002. Diatomeas bentónicas de la península de Baja California; diversidad y potencial ecológico. *Oceánides-CICIMAR-IPN-UABCS*, La Paz. 102 p.
- Winsborough, B. y S. Golubic. 1987. The role of diatoms in stromatolite growth: two examples from modern freshwater settings. *Journal of Phycology* 23:195-201.
- Wojtal, A. Z. y L. Sobczyk. 2012. The influence of substrates and physicochemical factors on the composition of diatom assemblages in karst springs and their applicability in water-quality assessment. *Hidrobiologia* 695:97-108.