



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Cianoprocariontes asociadas a clorofitas filamentosas
y macrófitas en ambientes lóticos de la Cantera
Oriente, Ciudad de México.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

CYNTHIA ROXANA MACEDA RAMÍREZ



DIRECTOR DE TESIS:
DRA. ROSA LUZ TAVERA SIERRA
2017

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Maceda
Ramírez
Cynthia Roxana
5534386338
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
307232777

2. Datos del tutor

Dra.
Rosa Luz
Tavera
Sierra

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Javier
Carmona
Jiménez

4. Datos del sinodal 2

Dr.
Gustavo Alberto
Montejano
Zurita

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Mariana Guadalupe
Cartajena
Alcántara

6. Datos del sinodal 4

M. en C.
Gustavo
Pérez
Ortiz

7. Datos del trabajo escrito.

Cianoprocariontes asociadas a clorofitas filamentosas y macrófitas en ambientes lóticos de la Cantera Oriente, Ciudad de México.
79 páginas
2017

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia. A mis padres, Juanita Ramírez y Lucio Maceda por todo el apoyo durante mis estudios, por enseñarme el valor del trabajo y la perseverancia. También agradezco a mi hermano Omar, que a pesar de las diferencias, me hace ver la realidad de las situaciones.

A mis abuelos, Mamá Juani y Papá Pablo, por apoyarme y preocuparse por mí siempre. A mis primos, por todos los momentos divertidos, en especial a Luisa y Rubén por apoyarme y a Adri, André y Goami por el karaoke. Agradezco a mis tíos por sus consejos y palabras de ánimo, en especial a mi tío Chucho y mi tía Ana.

A mis amigos, con los que parece que no pasa el tiempo: Yuri, Aurora y Joss, Eduardo, Melina y Gerardo, Martín, Kari y Jhon, Rox (gemela), Adri y Ariz.

Agradezco a mis compañeros de equipo durante la carrera, por todos esos momentos divertidos y de tensión compartidos. Agradezco a mis amigos de la facultad, con los que pasé y espero seguir pasando un buen rato: Dianita, Itzel, Xochilt, y Angie, por las clases de fanzozoico, las salidas a comer, al cine, las pláticas, las ferias del libro, los pasos al botánico, las organizadas para las películas en casa y la pizza y por las famosas “carnes”, que fueron un éxito. A Raúl, por las pajarzadas y por las pláticas durante tantas caminatas. A Mike, Diego y Pako, por todas las risas entre clases. A Cristóbal, Gaby y Anita por las clases de genética, las pláticas nerds y por las idas a la biblioteca y al cine.

También, agradezco enormemente a mi hobby, la observación de aves, por enseñarme otra visión de la biología y por haberme dado la oportunidad de conocer a muchas personas que aman esta actividad. Al equipo de Aves FC, por haberme ayudado a incursionar y mejorar mis habilidades, gracias a todos con los que compartí tantas pajarzadas, en especial a Fer, Gaby, Raúl, Diego, Pablo C., Mike, Anna, Enya, Carlos, Pablo R. y Minz (de Zanates Rabiosos). Junto con ellos, hemos podido sembrar la curiosidad de las aves en muchas personas y su importancia. Gracias por tan grata experiencia.

Finalmente, quiero agradecer a Arturo, por haberme acompañado durante la mayor parte de este proceso, por todas las veces que me escuchó, por los consejos, por las palabras de apoyo cuando me sentía desanimada y por las largas pláticas. Gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora Rosi, por el apoyo durante la realización de este proyecto, por enseñarme el complejo mundo de las cianoprocariontes y lo que conlleva el estudio ecológico de las algas.

Agradezco al Doc Novelo por ayudarme durante las observaciones al microscopio, para que poco a poco pudiera observar mejor a tan pequeños organismos.

Agradezco a Lupita Vidal por su apoyo en la realización de los cultivos y de las determinaciones físico-químicas. Gracias por apoyarme en todas las dudas que fueron surgiendo durante el trabajo diario en el laboratorio.

A la M. en C. Itzel Sigala, por dejarme el gusto por el mundo de los protistas y las algas.

Agradezco a todos los sinodales: M. en C. Mariana Cartajena, M. en C. Gustavo Pérez, Dr. Javier Carmona y Dr. Gustavo Montejano, que de manera muy concisa o extensa, me ayudaron con sus comentarios a mejorar este trabajo. También, agradezco enormemente al M. en C. Gustavo Jiménez, por su apoyo para la interpretación del análisis estadístico.

Además, quiero agradecer a mis compañeros del LACET, en especial a aquellos con los que compartí este proceso: Itzel, Kelly, Nonor, Martita, Ale, Bea, Erika, Jimena, Eva, Horacio, Mari, Jorge, Carlos, Tania, Aline y Angie, así como a los compañeros de los catálogos ilustrados. Gracias por todas las pláticas, que hicieron el trabajo en el laboratorio mucho más ameno. También quiero agradecer a todos aquellos que me acompañaron durante las visitas a la Cantera: Rosi, Itzel, Angie, Dianita, Ale, Tania, Karla, Cristóbal, Gaby, Sergio, Omar, Carmen y Daniel, muchas gracias por su ayuda.

Índice

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Características de los ambientes lóticos	3
Formas de crecimiento algales en ambientes lóticos	4
Características de las cianoprocariontes.....	5
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Sitios de colecta.....	10
Recolección en campo.....	12
Determinación de nutrimentos.....	13
Cultivos.....	14
Análisis de resultados.....	14
RESULTADOS	16
I. Descripción de especies	16
II. Cianoprocariontes asociadas al sustrato algal o vegetal.....	51
III. Presencia de las especies por mes	52
IV. Especies presentes en los dos ambientes.....	54
V. Índice de Valor de Importancia.....	55
VI. Variables ambientales.....	57
VII. Análisis estadístico	59
DISCUSIÓN.....	61
Sobre las formas de vida identificadas.....	61
Relación entre las especies y el ambiente	62
CONSIDERACIONES FINALES	66
CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS.....	75

RESUMEN

En la Ciudad de México, existen pocos sitios conservados de ambientes continentales acuáticos, los cuales, resguardan un tipo específico de biodiversidad. De estos, el grupo de las algas cianoprocariontes tiene una gran importancia ecológica, derivada de su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Esta característica permite su uso como bioindicadores del estado trófico, principalmente en ambientes lóticos, pero debido a la falta de una documentación taxonómica detallada a nivel de especie, este uso se encuentra restringido. Se realizaron muestreos de macrófitas y clorofitas filamentosas durante un año, en 2 ambientes lóticos de la Cantera Oriente, con el objetivo de identificar y describir a las cianoprocariontes asociadas a estos sustratos algales o vegetales, las cuales han recibido poca atención. Se describieron 13 especies de cianoprocariontes (epífitas y epixílicas), de las cuales 4 son compartidas. Se reconstruyó parcial o totalmente, el ciclo de vida de algunas especies obtenidas en cultivo, como una herramienta útil en su identificación taxonómica. Aplicando un índice de valor de importancia y mediante un análisis de chi cuadrada con tablas de contingencia, se determinó que la diferencia en la composición de especies y la frecuencia con la que se presentan en ambos sitios, está dada por el tipo de sustrato algal o vegetal y la época del año ($p < 0.0001$); además, mediante una correlación de Pearson ($p=0.022$) y un Análisis de Correspondencia Canónica, se determinó que la saturación de oxígeno disuelto fue la única variable relacionada con el IVI de las especies de ambos sitios.

INTRODUCCIÓN

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), abarca una superficie aproximada de 9,600 km². Está conformada por la Ciudad de México y algunos municipios del estado de México y es parte de la Cuenca del Valle de México junto con los estados de Tlaxcala, Hidalgo y los municipios restantes del estado de México (CONAGUA, 2010). Debido a sus características topográficas, la cuenca tiene ríos en las zonas montañosas, así como abundante precipitación (Carmona y Caro-Borrero, 2015).

El agua es fundamental en toda civilización, pero en un área urbana como lo es la ZMVM, los ríos no han sido compatibles con la estructura urbanizada, por lo que la mayoría de ellos han sido entubados para construir vialidades y zonas habitacionales, así como complejos de drenaje (CONAGUA, 2010; Mazari-Hiriart *et al.*, 2014).

La urbanización pone en riesgo los servicios ambientales que proveen los ríos, tales como la purificación y suministro de agua, el mantenimiento de la diversidad biológica y la regulación climática (Carmona-Jiménez y Caro-Borrero, 2017). Por esta razón, es importante, por un lado, la conservación de ríos de la ZMVM, así como la evaluación de la calidad del agua y del ambiente (Carmona y Caro-Borrero, 2015).

En diversos países, se han utilizado a las algas como indicadores biológicos, considerando tanto especies como comunidades algales, particularmente las formas bentónicas en el caso de los ríos (Bellinger & Sigeo, 2010). Las evaluaciones de tipo biológico buscan definir las condiciones de referencia del sitio (es decir, condiciones con baja o nula perturbación antropogénica) (Carmona y Caro-Borrero, 2015), que debe tener como base, la adecuada identificación taxonómica de las especies presentes.

De todos los grupos algales, el de las cianoprocariontes, se caracteriza por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Whitton & Potts, 2012; Casamatta & Hašler, 2016), al convertirlo en amonio y aminoácidos (Sigeo, 2005), incluso en bajas proporciones de N:P (Bellinger & Sigeo, 2010) por lo que se han utilizado como indicadores de la fluctuación de nutrientes. Hay especies que se asocian con una condición eutrófica, mientras que otras se asocian con

una condición oligotrófica (Perona & Mateo, 2006; Bellinger & Sigee, 2010). Sin embargo, su uso como bioindicadores no es tan amplio porque los investigadores enfrentan dificultades para la identificación taxonómica (Sciuto *et al.*, 2012; Casamatta & Hašler, 2016). En este contexto, no es siempre posible utilizar otras herramientas que complementen la identificación como los cultivos (Rippka, 1988).

En México, se han realizado diversos estudios ficológicos en ambientes lóticos, tanto florísticos como ecológicos que incluyen especies cianoprocariontes, principalmente en la región central de México (Montejano *et al.*, 1993; Gold-Morgan *et al.*, 1994 y 1996; Valadez *et al.*, 1996; Cantoral *et al.*, 1999; Ramírez-Vázquez *et al.*, 2001; Bojorge-García, 2002 y 2013; Rodríguez Flores, 2014) (Anexo I). En todos ellos, se describen cianoprocariontes epífitas o asociadas, de los géneros *Chamaesiphon*, *Xenococcus*, *Calothrix*, *Heteroleibleinia* y *Phormidium*, los cuales también fueron observados en este trabajo.

Características de los ambientes lóticos

Los ambientes acuáticos continentales muestran una amplia variación en sus características físicas y químicas, lo cual influye en la composición de las comunidades microbianas presentes. Una distinción importante es su agrupación en aguas con un movimiento mínimo, o sistemas lénticos y aguas corrientes o sistemas lóticos (Sigee, 2005).

Los ambientes lóticos se caracterizan por presentar un bajo tiempo de retención, debido a que la entrada de agua es periódica y unidireccional, además el sustrato está bien aireado y expuesto a la luz (Sigee, 2005; Rodríguez-Flores, 2014). Estos ambientes, están sujetos a cambios a lo largo de su longitud, en características como profundidad, velocidad de flujo, geología de la tierra y cauce, concentración de sales, turbidez, entre otros, lo cual genera una gran cantidad de hábitats disponibles (Round, 1973). Respecto a la velocidad de corriente, existe una gran diferencia entre los ríos de pendiente suave, generalmente largos y de flujo lento (donde puede llegar a establecerse una comunidad planctónica) y los arroyos y ríos de pendiente pronunciada, generalmente pequeños y turbulentos, donde la comunidad dominante es la bentónica (Sigee, 2005).

Formas de crecimiento algales en ambientes lóticos

Desde los inicios del estudio ecológico de las algas, se han propuesto clasificaciones relacionadas con las diferentes formas de crecimiento en las que se encuentran en el ambiente. El primero de ellos fue el de Round (1981), el cual dividió a las algas en 4 grupos principales: Rizobentos, Haptobentos, Herpobentos y Endobentos y algunos otros grupos que crecen sin adherirse a algún sustrato, como Plocon, Fitoedafon y Criofiton.

En la actualidad, se ha adoptado el término Perifiton para referirse a toda la microflora de las orillas (algas, bacterias y hongos) que crece sobre un sustrato natural o inerte (Cuadro 1) (Sigeo, 2005), el cual resulta muy similar al grupo del haptobentos propuesto por Round (1973, 1981). En una revisión reciente del término, Larned (2010) concuerda en que perifiton se aplica a una variabilidad amplia de sustratos. Por tanto y para los fines de este trabajo, se considera que la comunidad revisada (epífita y epixílica), forma parte del perifiton de ambientes lóticos. El término, también se ha utilizado como sinónimo de “algas bentónicas” y en ocasiones, para referirse a los biofilms y a las masas mucilaginosas gruesas, conformadas principalmente por cianoprocariontes (Stevenson, 1996).

Cuadro 1. Clasificación del perifiton en grupos.

Grupo	Características
Epífita	Adheridos a la superficie de algas como <i>Chara</i> , <i>Cladophora</i> , o plantas como Briofitas, Pteridofitas y Angiospermas, que viven dentro del agua.
Epixílico	Sobre arbustos o madera.
Epilítico	Sobre superficies de rocas.
Episámnico	Se encuentran sobre granos de arena.
Epipélico	Presentes en los sedimentos finos, como lodo y arena. Incluye organismos móviles como diatomeas, algas filamentosas y flagelados.

Basado en las formas de vida del haptobentos de Round (1973, 1981), Sigeo (2005), Azim (2009) y Larned (2010).

Para referirse a las algas y plantas hospederas de epífitas, se utilizará el término **sustrato algal** para referirse a las clorofitas filamentosas (*Rhizoclonium hieroglyphicum* y *Cladophora glomerata*) y **sustrato vegetal** para referirse a las macrófitas (*Stuckenia pectinata* y *Buddleja cordata*).

Características de las cianoprocariontes

El grupo de las algas cianoprocariontes ha existido en la Tierra desde el periodo Precámbrico (Komárek, 2003) y fueron los primeros organismos capaces de realizar fotosíntesis oxigénica, lo que permitió que la atmósfera terrestre pasara gradualmente de anóxica a oxigénica (Palinksa, 2008). Han colonizado casi todos los ambientes de agua dulce, marinos y terrestres, incluyendo algunos ambientes extremos (Komárek, 2003).

Son organismos procariontes¹, uni o multicelulares, que poseen una pared celular gram-negativa de peptidoglicano; la célula contiene tilacoides con clorofila *a* y ficobilisomas (estructuras con pigmentos accesorios: ficocianina, ficoeritrina y aloficocianina, que le dan su color particular) y la sustancia de reserva es glucógeno (Komárek, 2003; Lee, 2008). En la célula cianoprocarionte existen estructuras llamadas carboxisomas, con distinto grado de desarrollo (dependiendo del grupo), las cuales contienen enzimas involucradas en la fijación de carbono.

De acuerdo con algunos autores (Komárek *et al.*, 2003; Lee 2008) y considerando la morfología de las especies cianoprocariontes, se han separado en 3 órdenes:

- 1) Orden Chroococcales. Organismos unicelulares, rodeados por una vaina mucilaginosa, a veces difícil de distinguir. Sus células presentan formas tanto regulares como irregulares. Al interior de la célula, la estructura protoplasmática se ha dividido en región central o nucleoplasma (en la que se encuentra el DNA) y región periférica, en la cual se encuentran los tilacoides. La posición y el patrón que forman los tilacoides se considera una característica diagnóstica ya que difiere entre géneros. La célula se divide principalmente por fisión binaria y pueden presentarse uno, dos o tres planos de división, perpendiculares entre sí y las células hijas suelen crecer al tamaño original antes de la siguiente división. En algunos géneros, las células se denominan polarizadas debido a que la división ocurre en una sola dirección. En cuanto a la reproducción, ésta es asexual y se han observado tres tipos de células: exocitos, nanocitos y baecitos. Los exocitos se obtienen por división celular

¹ Se refiere a que el DNA no está rodeado por una membrana dentro de la célula (Lee, 2008).

asimétrica, la cual ocurre rápidamente en la parte apical de una célula polarizada. Los nanocitos y baeocitos se obtienen por fisión múltiple, la cual ocurre rápidamente en la célula madre, en el caso de los nanocitos, el mucílago que los rodea es muy fino y en los baeocitos, la vaina es firme y engrosada.

- 2) Orden Oscillatoriales. Organismos filamentosos en los que el producto de la unión de las células vecinas mantiene una división (bipartición) unidireccional y este produce un arreglo en forma de tricoma. El tricoma está rodeado por una envoltura llamada vaina² y a este conjunto de tricoma y vaina se le denomina filamento. Este orden se caracteriza por presentar tres tipos de arreglos tilacoidales (parietal, radial e irregular). Los tricomas pueden fragmentarse, mediante células que pierden el contenido (necridios) que permiten la formación de filamentos cortos (hormogonios). La división celular generalmente ocurre de manera perpendicular al eje del tricoma.
- 3) Orden Nostocales: Filamentos con heterocitos y acinetos. Los filamentos pueden ser heteropolares con una vaina estrecha, células apicales diferenciadas y células del final atenuadas, encontrándose en forma ensanchada, acortada, esférica o en forma de pelo; en algunos géneros, los filamentos se ramifican. En otras familias, los filamentos se encuentran dentro de colonias poco o muy aglomeradas con vainas amplias. Los heterocitos se desarrollan de células vegetativas y dependen del suministro de nitrógeno, pueden encontrarse en una posición apical o intercalar; en cuanto a los acinetos, se consideran células de reposo y se caracterizan por su pared engrosada, y al madurar son más grandes que las células vegetativas.

En general, para ambientes acuáticos continentales se pueden encontrar cianoprocariontes perifíticos de todos los grupos mencionados (Stevenson, 1996), por ejemplo, los géneros *Calothrix*, *Chamaesiphon*, *Chroococcus*, *Cylindrospermum*, *Fischerella*, *Gloetrichia*, *Leibleinia*, *Mastigocladus*, *Merismopedia*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Schizothrix* y *Tolypothrix* (Biggs, 1996; Bellinger & Sigeo, 2010). Para México y específicamente para ambientes lóticos, se han registrado especies de algunos de éstos y de otros géneros (Anexo I).

² Compuesta por lipopolisacáridos, algunas veces difícil de distinguir al microscopio (Lee, 2008).

ANTECEDENTES

De todos los grupos algales estudiados en la Cantera, las especies pertenecientes a la División Cyanoprokaryota se han caracterizado por la diversidad de formas de vida, que incluyen especies fitoplanctónicas, aerofíticas, metafíticas y epífitas. En los trabajos de Novelo *et al.* (2007 y 2009) se registraron en La Cantera 27 especies de este grupo, la mayoría de las cuales se encontraron en arroyos y canales que en general, han sido menos estudiados que los ambientes lénticos (lagos someros).

Por su parte, en 2016, Ceballos Ramírez reportó 96 especies, pertenecientes a material colectado entre 2006-2007, agregando 18 taxones de diversos grupos algales a los reportados anteriormente, de los cuales, para el caso de cianoprocariontes se describieron 6 taxones a nivel de género y 9 especies, y de estas, sólo se reportó una especie epífita (*Aphanotece elabens*).

JUSTIFICACIÓN

La Cantera Oriente está inmersa dentro de la Ciudad de México y es uno de los pocos sitios protegidos (debido a su estatus de ambiente restaurado) donde se pueden encontrar tanto lagos como ambientes lóticos, por lo que el estudio de su biodiversidad puede ser un referente del estado de conservación de un ambiente lótico, en una zona con influencia urbana. Es por ello que este trabajo busca, por una parte, la identificación taxonómica detallada de un grupo de organismos cianoprocariontes perifíticos que han recibido poca atención en la Cantera (las formas de vida epífitas y epixílicas), además de describir las condiciones ambientales en las que se encontraron dichas especies.

OBJETIVOS

General

- Identificar las especies de cianoprocariontes perifíticas (epífitas y epixílicas) a lo largo de un año y comparar la composición de especies en dos ambientes lóticos contrastantes (natural y artificial) en la Cantera Oriente.

Objetivos particulares

- Describir e identificar las especies de cianoprocariontes con forma de vida epífitas y epixílicas, mediante fotografías y esquemas, obtenidos de material preservado y de cultivo.
- Describir los ciclos de vida en los cultivos, como un complemento importante para su determinación taxonómica.
- Evaluar mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI) la frecuencia y densidad relativa de las especies descritas.
- Analizar si existe relación entre las especies y el tipo de ambiente, considerando al arroyo como un ambiente natural y al canal como un ambiente artificial, mediante el IVI de las especies y las variables ambientales y por medio de la composición de especies en cada sustrato algal o vegetal.

ÁREA DE ESTUDIO

La Cantera Oriente está ubicada al sur de la Ciudad de México y cuenta con 7.5 hm² de terreno (Lot *et al*, 2012). Se incorporó a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) en diciembre de 1996 y el 2 de junio de 2005, se le asignó la zonificación de manejo "A3" (Lot, 2007), esto significa que pertenece a la zona núcleo 3 y de acuerdo con Lot y Cano-Santana (2009), se divide en las Zonas de Amortiguamiento D (del lado del Pedregal de Santo Domingo), E (la que colinda con la Av. Delfín Madrigal), F (instalaciones del Club de Fútbol Pumas) y G (tanques de agua potable de la DGCOHDDF).

Dicha zona fue concesionada durante 25 años a la Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal y fue usada como depósito de escombros tras el sismo de 1985, periodo en el cual desapareció la vegetación de matorral xerófilo que poseía (Lot, 2007; Ortiz-Pérez *et al.*, 2007). Debido a que la Cantera se consideró un sitio altamente impactado, el Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA) y la Secretaría Ejecutiva de la REPSA (SEREPSA) decidieron implementar un programa de restauración ecológica, el cual se ha mantenido desde diciembre de 1997 (Lot, 2007; Ortiz-Pérez *et al.*, 2007).

Medio físico

De acuerdo con la clasificación de Ortiz-Pérez *et al.* (2007), existen cuatro unidades ambientales o de paisaje en la Cantera: A) Paisaje lacustre y de humedales, B) Paisaje de jardines, C) Paisaje de bosques y arbustos y D) Paisajes construidos. En el Cuadro 2, se enlistan las características de cada una de estas unidades de paisaje.

Cuadro 2. Subdivisión de las unidades de vegetación en la Cantera Oriente.

Unidad de paisaje con vegetación	Subdivisión	Origen/ Función	Superficie (%)
Paisajes de jardines	Terrazas con jardines	Antrópico/Estabilización	2.09
	Talud de terraza con césped	Antrópico/Estabilización	0.21
Paisajes de bosques y arbustos	Bordo arbolado	Antrópico/Represa	1.27
	Bordo con cipreses	Antrópico/Ornamental	1.47
	Terraza arbolada	Antrópico/Ornamental y Estabilización	7.62
	Plano ondulado de relleno con cubierta arbórea abierta	Antrópico/ Especies subcaducifolias	5.76
	Plano ondulado de relleno con vegetación arbórea cerrada	Antrópico/ Comunidad forestal diversa y densa	5.76
	Talud de terraza con vegetación ruderal	No específico/Colinda con las terrazas en jardines	3.04
	Plano ondulado de relleno con vegetación arbustiva	No específico/Colinda con las zonas inundables	2.19
	Talud de terraza con vegetación arbustiva	No específico/Colinda con la planicie ligeramente inclinada	4.69
	Planicie ligeramente inclinada con vegetación arbustiva	Contacto o transición con áreas palustres/ Vegetación herbácea y arbustiva	6.14
	Borde de pared rocosa con vegetación ruderal	Áreas más conservadas	11.81

Fuente: Ortiz-Pérez *et al.*, 2007.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de colecta

Se eligieron dos sitios de colecta en donde se ha reportado especies de cianoprocariontes epífitas (Novelo *et al.*, 2007 y 2009), los cuales se denominaron “Arroyo Puente” y “Canal de Concreto” (fig. 2).

El Arroyo Puente (19°19'6.84"N, 99°10'24.90"O) es una desviación del agua que escurre por la pared noroeste de la Cantera (fig. 3), el cual posee un sustrato de gravas y arena (Hernández Martínez, *et al.*, 2007), por lo que se consideró que se comporta como un sitio natural. Se ubica en la unidad ambiental **paisajes de bosques y arbustos**, subdivisión “plano ondulado de relleno con vegetación arbórea cerrada”, que representa una comunidad forestal diversa, con un techo arbóreo denso. A las orillas del Arroyo se encuentran principalmente cipreses (*Cupressus sempervirens* L.) y tepozanes (*Buddleja cordata* Kunth).

Dentro del Arroyo se pueden encontrar plantas herbáceas, principalmente la macrófita sumergida *Stuckenia pectinata* (L.) Börner (Hernández Martínez, *et al.*, 2007; Ortiz-Pérez *et al.*, 2007), así como la clorofita filamentosa *Rhizoclonium hieroglyphicum* (Agardh) Kützing, la cual posee un talo verde y forma crecimientos visibles en el Arroyo. Se encontró asociada al perifiton de *Stuckenia pectinata*. Filamentos rectos, sin ramificaciones; células cilíndricas, de 13.6-16.1 µm de ancho y 22.2-49.4 µm de largo. Células apicales alargadas y estrechas. Pared celular gruesa y lamelada, 29.6 µm de ancho. No se observaron células reproductoras. Forma de vida perifítica y bentónica.

El Canal de Concreto (19°18'59.76"N, 99°10'23.10"O), fue construido para nivelar el volumen de agua en época de lluvias y conecta el agua que también proviene de la pared noroeste de la Cantera con el Lago Vaso Regulador (fig. 4), pero como el agua fluye en un lecho de concreto y como el flujo es represado, se le consideró un sitio artificial. Se encuentra dentro de la unidad ambiental de paisajes con jardines, subdivisión “terrazas con jardines” y se caracteriza por estar rodeado principalmente por fresno (*Fraxinus udhei* (Wenz.) Lingelsh) y liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* L.) (Ortiz-Pérez *et al.*, 2007).

Dentro del Canal, se pueden observar crecimientos esporádicos de *Stuckenia pectinata*, así como crecimientos abundantes de la clorofita filamentosa *Cladophora glomerata* (L.) Kützing, la cual se caracteriza por su talo verde brillante, formando crecimientos visibles abundantes, generalmente en un hábito postrado sobre el fondo del Canal o bien, creciendo sobre las paredes. Los crecimientos de esta especie son ramificados, presentando de 2 a 3 ramificaciones en el talo. Células cilíndricas a lo largo del talo, 32.1-59.3 μm de ancho y 133.4-291.5 μm de largo (las del eje principal hasta 711.4 μm de largo). La pared celular es engrosada y lamelada, de alrededor de 100 μm de ancho. Las células apicales suelen ser estrechas. No se observaron estructuras de fijación ni estructuras reproductoras. Forma de vida bentónica.



Figura 2. Sitios de recolección en la Cantera Oriente. Modificado de Google Earth, 2013.

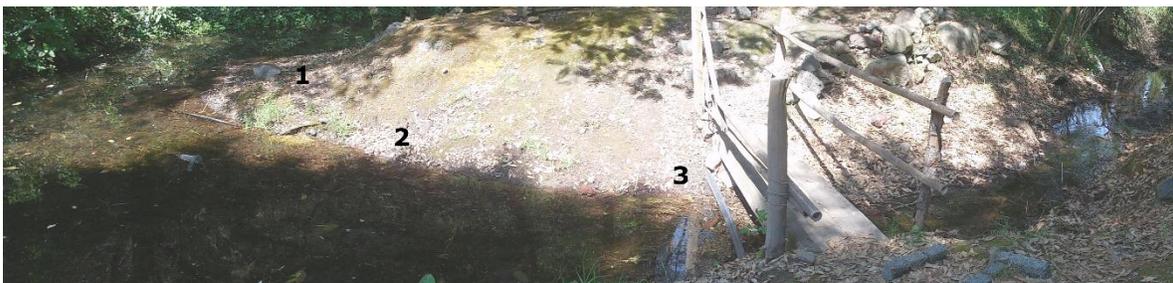


Figura 3. Vista parcial del sitio natural denominado "Arroyo Puente" y en número, los puntos de colecta.



Figura 4. Vista parcial del sitio artificial denominado "Canal de Concreto" y en número, los puntos de colecta. Todas las colectas de realizaron en la zona antes de la compuerta.

Recolección en campo

Se recolectaron mensualmente durante un año (septiembre de 2012 - septiembre 2013) exprimidos de macrófitas y clorofitas filamentosas y raspados con navaja en el caso de raíces o madera sumergidos. Todas las muestras se colectaron por duplicado, un lote fue fijado con formalina al 2.5% para la realización de preparaciones en laboratorio y el segundo lote se utilizó para aislamiento de células para cultivos.

Se realizaron mediciones de factores físico-químicos con equipo de campo y se midió pH, temperatura y conductividad (Conductronic PC-18) y el oxígeno se midió con un oxímetro (Conductronic Ox-25). Además, se tomaron muestras de agua de 500 mL para la determinación de nutrimentos en laboratorio.

Además, se realizaron 2 colectas en mayo y junio de 2014 con la finalidad de aislar en cultivo, las especies epífitas firmemente adheridas (*Chroococcales*), después de la limpieza y de colocar las clorofitas directamente sobre el medio de cultivo sólido, el sustrato se cepilló con un pincel del n° 1 (para el caso de *Rhizoclonium hieroglyphicum*) y n°3 (para *Cladophora glomerata*), para favorecer el desprendimiento de los organismos cianoprocariontes epífitos.

En mayo solo se pudieron cultivar los organismos del Canal y en junio se cultivaron organismos de ambos sitios. De igual forma y con el mismo fin, se procedió a resembrar los diferentes crecimientos de cada cultivo inicial hasta obtener cultivos unialgales.

Determinación de nutrimentos

Los nutrimentos fueron determinados mensualmente después de cada colecta, siguiendo las indicaciones para HACH (2010); el fósforo total se obtuvo por el método de digestión ácida, mientras que las determinaciones de nitrógeno fueron: para el nitrato, mediante el método de reducción de cadmio, el nitrito por el método de diazotización y el amonio con el método del salicilato. El nitrógeno inorgánico total disuelto se obtuvo sumando los valores de las tres formas inorgánicas mencionadas.

Montaje y revisión de las preparaciones

A partir del material preservado se realizaron preparaciones semipermanentes con gelatina glicerinada (González y Novelo, 1986), tomando los filamentos del fondo del frasco y/o con detritos alrededor; el material (preparaciones y muestras líquidas) se incorporó a la colección CM del Herbario de la Facultad de Ciencias (FCME), mantenida en LACET (Laboratorio de Algas Continentales, Ecología y Taxonomía).

Las preparaciones fueron observadas con el microscopio Nikon 80i (con contraste de interferencia diferencial) y fotografiadas con la cámara ProgRes Capture Pro 2.8.8. Cada especie fue medida, fotografiada y esquematizada para complementar su determinación; el procesamiento de esquemas y fotografías se realizó con el software libre GIMP 2.8.10.

Las especies fueron determinadas con base en literatura especializada: Komárek & Anagnostidis (1998), Komárek & Anagnostidis (2005), Komárek (2012), Skuja (1937), Geitler (1935) y Montejano, Gold-Morgan & Komárek (1993), Gold-Morgan, Montejano & Komárek (1994) y Gold-Morgan, Montejano & Komárek (1996).

Cultivos

El lote de muestras que no fue fijado con formalina, se utilizó para realizar los cultivos que permitieran observar de manera detallada algunas de las características que se pierden en el material preservado (color, forma de la célula, entre otros); se realizó una limpieza general de la muestra, bajo el microscopio estereoscópico, para retirar fauna asociada y detritos y se colocó una pequeña cantidad del sustrato sobre medio de cultivo sólido BG11 o BG11₀. Las resiembras subsiguientes fueron obtenidas a partir del aislamiento de todos los crecimientos distintos que se fueron desarrollando en cada caja de cultivo inicial, con el fin de obtener cultivos unialgales y para dar seguimiento a la secuencia de fases del ciclo de vida, cuando fue posible.

Identificación de cultivos

Con el material que creció en los cultivos, se realizaron preparaciones fijas periódicamente y se tomaron las medidas de algunos ejemplares; se fotografiaron y describieron las características tanto de las células de tricomas o colonias, como de la forma de crecimiento de los talos en cultivo; con esta documentación se complementaron los datos obtenidos del material preservado en campo, sobre preparaciones permanentes y en ocasiones, en fresco.

Análisis de resultados

Debido a las distintas formas en las que crecen las cianoprocariontes evaluadas (en forma de colonias abundantes o filamentos aislados) y a la dificultad para unificar un criterio de abundancia, se evaluó la presencia de cada especie y composición en las comunidades, aplicando el Índice de Valor de Importancia (IVI), utilizado en estudios ecológicos (fig. 5), con base en las fórmulas de densidad y frecuencia de Nguyen *et al.*, 2014 (Cuadro 3).

$$IVI = \text{Densidad relativa sp.} + \text{Frecuencia relativa sp.}$$

Figura 5. Índice de Valor de Importancia (IVI) calculado por especie. Modificado de Nguyen *et al.*, 2014.

Cuadro 3. Ecuaciones para calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI) por especie

Densidad	$\text{Presencia de una especie} \div \text{Total del área muestreada}$
Densidad Relativa	$\text{Densidad de una especie} \div \text{Densidad total de todas las especies} \times 100$
Frecuencia	$\frac{\text{Área de preparaciones en la cual se observó una especie}}{\text{Área total muestreada}}$
Frecuencia Relativa	$\text{Frecuencia de una especie} \div \text{Frecuencia total de todas las especies} \times 100$

Fuente: Nguyen *et al.*, 2014.

Para el cálculo del IVI, se realizó una matriz de datos en Microsoft Excel 2016®, anotando la presencia de cada especie por preparación (utilizado para el cálculo de densidad), presencia por mes, época y sustrato en el que estuvo presente. Para el cálculo de frecuencia, se consideró como área total, la que ocupa un cubreobjetos (400 mm²) por el total de preparaciones con presencia de cianoprocariontes por sitio (29 preparaciones para Arroyo y 30 preparaciones para el Canal) y como área de presencia, la presencia de cada especie por preparación, multiplicada por el área de un cubreobjetos (Anexo 2).

El IVI fue agrupado por época, para cada sitio. La separación por época, corresponde a la clasificación descrita para la REPSA: temporada seca de noviembre a mayo y temporada de lluvias de junio a octubre (Castillo-Argüero *et al.*, 2007).

Con el programa XLSTAT (Addinsoft, para Microsoft Excel®), se realizó un análisis exploratorio de los datos obtenidos para cada variable físico-química, el cual indicó que no tienen una distribución normal mediante una Prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0.05$). Al normalizar los datos (transformando al $\ln + 1$), las pruebas de Levene ($p > 0.05$) y la Prueba T ($p > 0.05$), indicaron que podemos asumir igualdad de varianza entre los datos.

Se realizó una prueba de Chi cuadrada mediante una tabla de contingencia con los datos de IVI por sitio y por época (lluvias-secas) para evaluar la posible asociación entre IVI y tipo de ambiente.

Además, se realizó una correlación de Pearson para evaluar si existía relación entre las variables ambientales y el IVI de las especies (de ambos sitios). Finalmente, con el programa PAST, versión 3.17 (1999-2017), se realizó un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC) que permitiera visualizar las variables y su posible correlación con las especies.

RESULTADOS

I. Descripción de especies

Se identificaron 13 especies de la División Cyanoprokaryota, de las cuales 7 pertenecen al Orden Chroococcales, 2 al Orden Nostocales y 4 al Orden Oscillatoriales. En el Arroyo se identificaron 8 especies y en el Canal 9 especies, de las cuales se comparte únicamente el 31%, es decir, 4 especies (*Xenococcus bicudoii*, *Leibleinia epiphytica*, *Phormidium aerugineo-caeruleum* y *Pseudanabaena catenata*).

ORDEN Chroococcales

FAMILIA Chamaesiphonaceae

Chamaesiphon amethystinus f. *amethystinus* (Rostafinski) Lemmermann 1910

= *Sphaerogonium amethystinum* Rostafinski 1883

Figuras 6-8

Células frecuentemente solitarias o en ocasiones agrupadas paralelamente, unidas individualmente al sustrato, por medio de un pie. Célula cilíndrica y ampliamente redondeada en el ápice, ligeramente angosta en la base y con una separación evidente de la parte basal de la pseudovaina por una constricción (visible sólo en algunos individuos). Contenido celular azul grisáceo o violeta (cuando las células son más grandes), regularmente granular y con algunos gránulos cafés; dimensiones de la célula (3.4-3.9) 5-11.2 μm largo x (1.9) 2.4-3.7 μm ancho. Pseudovaina evidente, hialina (pero no evidente en todas las células). Un exocito en el ápice, ligeramente aplanado al inicio y esférico cuando se desarrolla, (1.9) 2.4-3.3 μm ancho.

Nota taxonómica: Se describió como forma *amethystinus* aunque el largo de las células es menor que en la descripción original.

Observaciones en cultivo: El pie o pedúnculo sólo fue evidente en muestras de cultivo, así como su vaina y una gran cantidad de exocitos (fig. 7).

Caracterización ambiental: Colectada del perifiton, asociada a *Stuckenia pectinata* y epífita en muestras de *Rhizoclonium hieroglyphicum* en el Arroyo. Temperatura: 14.0-17.3°C, pH: 6.6-7.8, Conductividad: 367-433 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 4.5 mg L^{-1} , Irradianza: 462.9 $\mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.01-1.82 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 7.9-10.1 mg L^{-1} .

Forma de vida y distribución: La forma *amethystinus* se ha encontrado en agua dulce, descrita como epífita de *Chantrasia* sp. y filamentos de cianoprocariontes en arroyos cristalinos de zonas templadas en Finlandia, Italia (Los Alpes) y Polonia. En México, descrita de una piscina fluvial del Centro de México, como epífita de *Blennothrix* sp.

Referencias de herbario. Arroyo: CM 201 (febrero 2013), CM 209 (marzo 2013), CM 217 y CM 219 (abril 2013), CM 226 y CM 227 (mayo 2013), CM 233 y CM 236 (junio 2013). Referencias de cultivo. Arroyo: CM 291 (junio 2014).

Chamaesiphon amethystinus

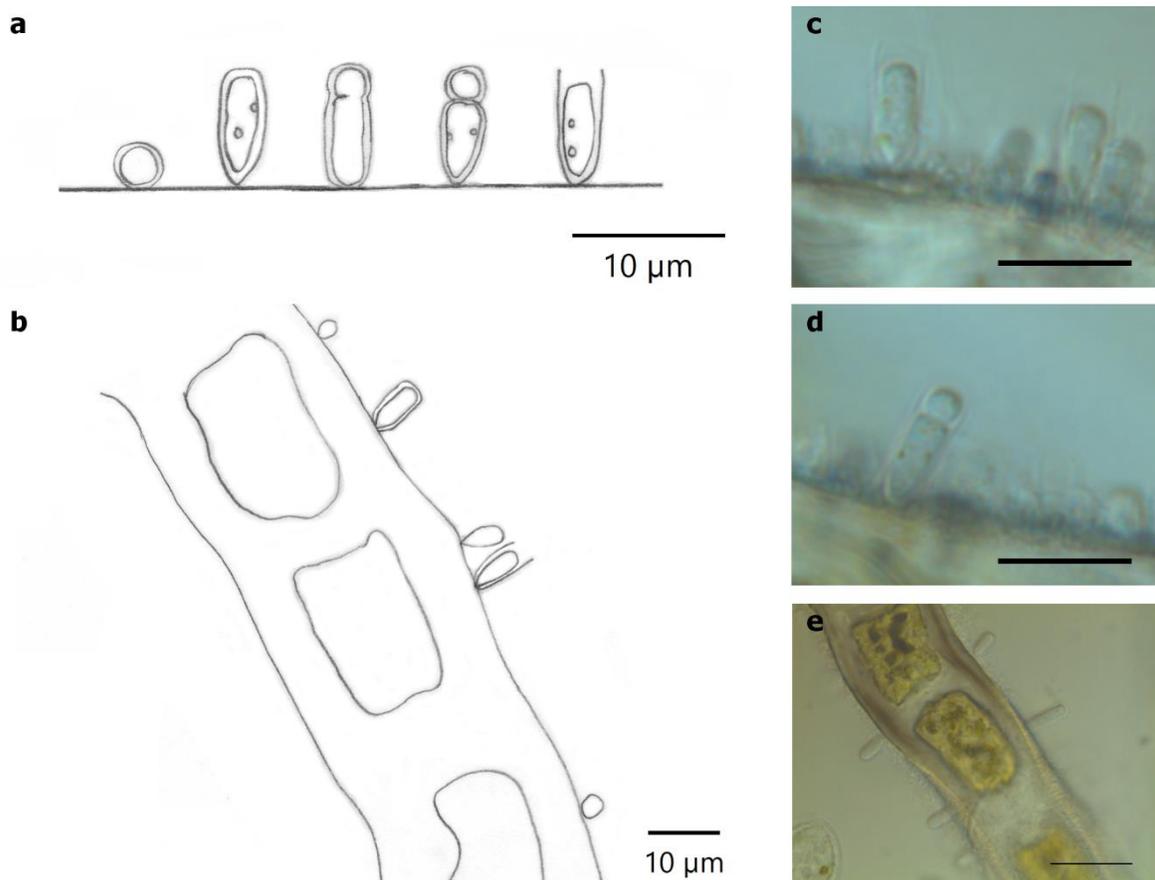


Figura 6. a) De izquierda a derecha: exocito sobre el sustrato, célula vegetativa, célula vegetativa y formación de exocito (preexocito), célula vegetativa y exocito, célula vegetativa con exocito liberado; **b, e)** Algunas células de *C. amethystinus* sobre *Rhizoclonium hieroglyphicum* (**e**, escala 20 µm, 40x); **c)** Células vegetativas con gránulos y vaina cerrada y abierta (escala 10 µm, 100x); **d)** célula vegetativa con exocito (escala 10 µm, 100x).

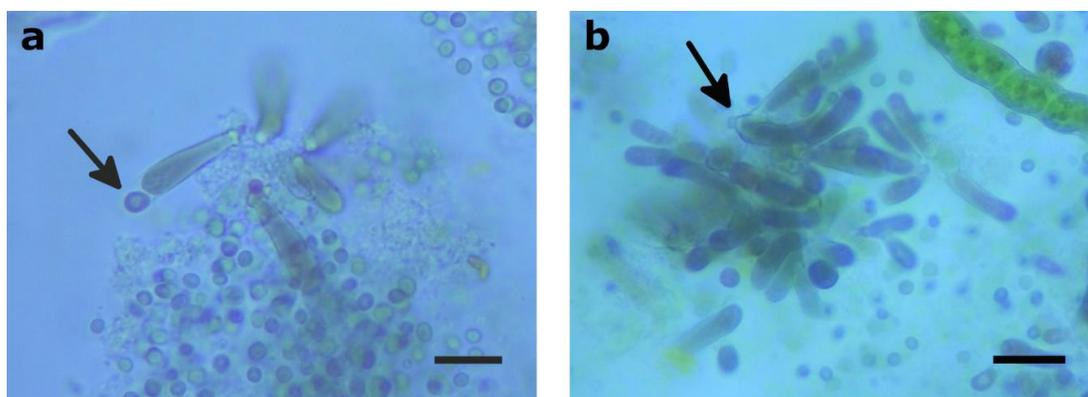


Figura 7. Cultivo de *Chamaesiphon amethystinus* f. *amethystinus* (cultivo de junio 2014, Arroyo), preparación en fresco. **a)** Exocito liberado, **b)** Pedúnculo (escala 10 µm, 40x).

Cultivo y Ciclo de vida:

En las muestras de campo, *Chamaesiphon amethystinus*, fue observada durante febrero a junio; en un inicio solo en forma de células vegetativas, posteriormente formando exocitos y finalmente se conjuntaron exocitos, células en crecimiento y células maduras sobre el sustrato. Dichas etapas se encuentran representadas en el ciclo de vida (fig. 8).

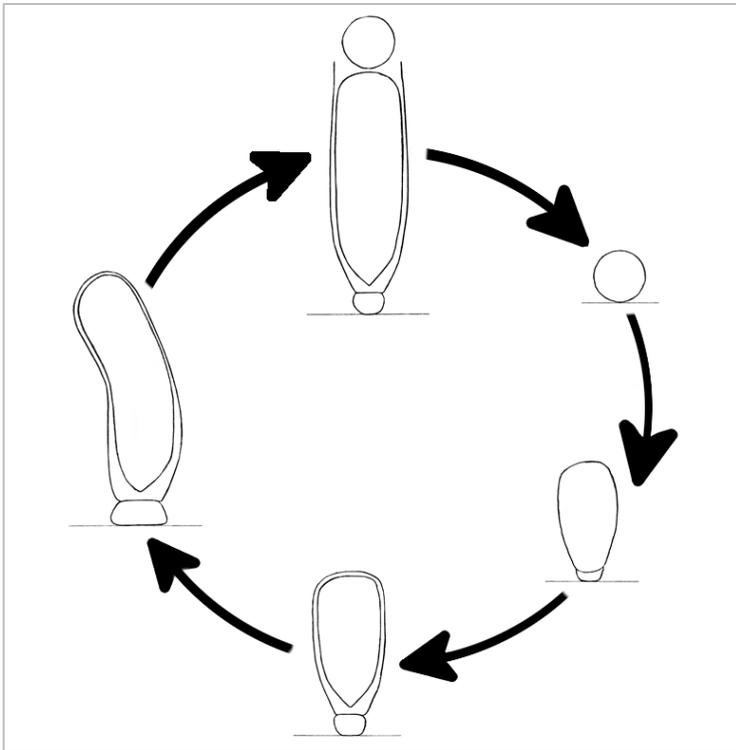


Figura 8. Reconstrucción del ciclo de vida de *Chamaesiphon amethystinus*. El ciclo de vida se realizó a partir de las muestras observadas en campo y en cultivo. En cultivo, se encontraron diversas etapas celulares al mismo tiempo.

FAMILIA Chamaesiphonaceae

Chamaesiphon incrustans f. *incrustans* Grunow in Rabenhorst 1865

= *Sphaerogonium incrustans* (Grunow) Rostafinski 1883

Figura 9

Células en grupos ligeramente esparcidos y abundantes, adheridas al sustrato individualmente, más o menos cilíndricas, redondeadas ligeramente en la base y casi siempre rectas, aunque algunas células se curvan ligeramente, un solo exocito por célula. Contenido celular verde-grisáceo, homogéneo, sin gránulos. Dimensiones de la célula 1.5-

2.0 μm de ancho x (1.9-2.9) 4.6-8.8 (9.7-11.7) μm de largo. Pseudovaina firme, delgada, incolora y distinguible solo en las células pequeñas. Exocitos esféricos 1.5-1.9 μm de ancho.

Caracterización ambiental: Epífita en muestras de *Cladophora glomerata*. Temperatura: 15.4°C, pH: 7.4-7.5, Conductividad: 373-376 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 1.2 mg L^{-1} , Irradianza: 106.1-120.6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 1.18-1.23 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.8-10.7 mg L^{-1} .

Forma de vida y distribución: Forma de vida bentónica: epífita (sobre algas verdes y rojas, así como plantas vasculares), epilítica y epixílica. Agua dulce, encontrada principalmente en ambientes lóticos (ríos, arroyos, charcas, manantiales, corrientes de agua dulce alcalina, ríos de montaña, ríos de tierras bajas y cascadas) y en algunos ambientes lénticos (estanques, acuarios). Descrita de Brasil, Inglaterra, España, Austria, Canadá, Polonia, Estados Unidos, Perú y Alemania. En México se ha descrito de aguas corrientes y manantiales, de San Luis Potosí, Estado de México y la Huasteca, con registros previos como epífita de *Cladophora glomerata* para la Cantera Oriente.

Referencias de herbario. Canal: CM 230 (mayo 2013), CM 237 (junio 2013).

Chamaesiphon incrustans

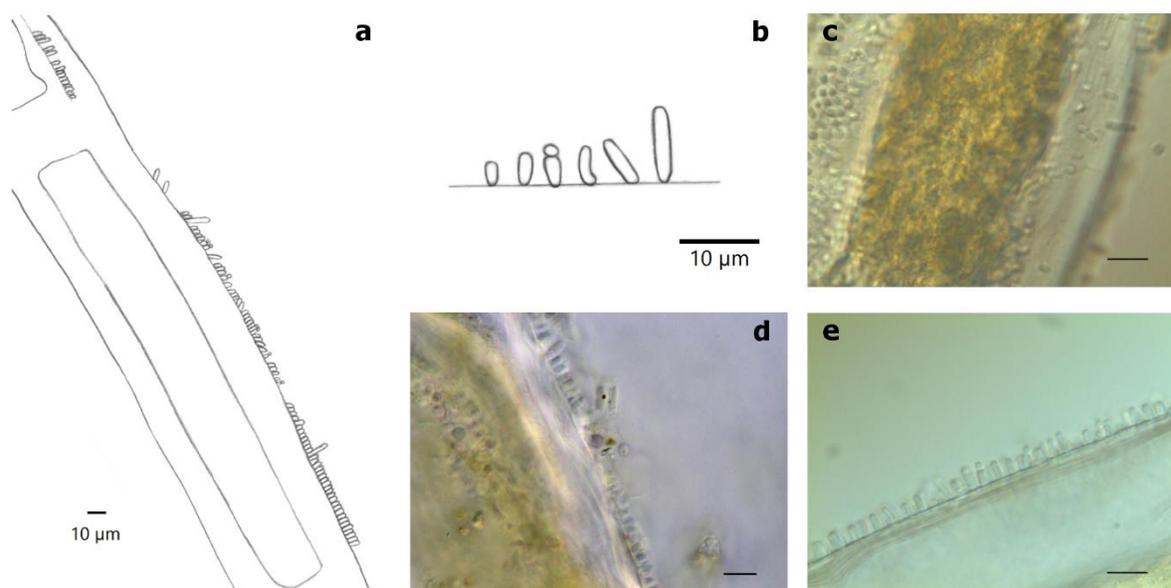


Figura 9. a y d) Vista lateral de los crecimientos sobre *Cladophora glomerata*; **b)** De izquierda a derecha: Células pequeñas, célula con exocisto y células alargadas; **c)** Vista frontal de los crecimientos de *C. incrustans*; **e)** Células de *C. incrustans* de varios tamaños y una con exocisto. **c-e:** Escala 10 µm, 100x.

FAMILIA Chamaesiphonaceae

Chamaesiphon minutus (Rostafinski) Lemmermann 1910

= *Sphaerogonium minutum* Rostafinski 1883; *Chamaesiphon minutus* var. *maior* Geitler 1932

Figura 10

Células en grupos numerosos, todas ancladas separadamente al sustrato (epífitas), ligeramente ovoides, cilíndricas y en ocasiones ovales, con finales ligeramente estrechos y ápices redondeados; color azul pálido a grisáceo, con gránulos cafés solitarios, (2.9) 3.9-7.8 µm largo x 1.5-1.9 (2.9) µm ancho. Pseudovaina delgada, hialina, cerrada y poco visible. Exocistos esféricos 1.0-2.9 µm ancho, en ocasiones se encontraron hasta 2 exocistos por célula o células muy pequeñas en una porción del sustrato (probablemente exocistos liberados).

Nota taxonómica: En general, se encontraron ejemplares más pequeños que en la descripción original.

Caracterización ambiental: Epífita en muestras de *Cladophora glomerata*. Temperatura: 14.6-15.8°C, pH: 5.5-7.4, Conductividad: 382-421 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 1.2-6.4 mg L⁻¹, Irradianza: 2.7-2,006.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.01-1.66 mg L⁻¹, Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.8-11.9 mg L⁻¹.

Forma de vida y distribución: Agua dulce, estenoterma de aguas frías, epífita sobre algas, musgos y cianoprocariontes filamentosas como *Tolypothrix* sp., de aguas estancadas cristalinas, descrita de países como Inglaterra, Argentina y Alemania. En México se ha registrado en ríos, remansos de ríos y lagos. Registrada con forma de vida epífita, de los estados de México y Morelos.

Referencias de herbario. Canal: CM 171 (octubre 2012), CM 194 (enero 2013), CM 230 (mayo 2013), CM 237 y CM 238 (junio 2013), CM 254 (agosto 2013).

Chamaesiphon minutus

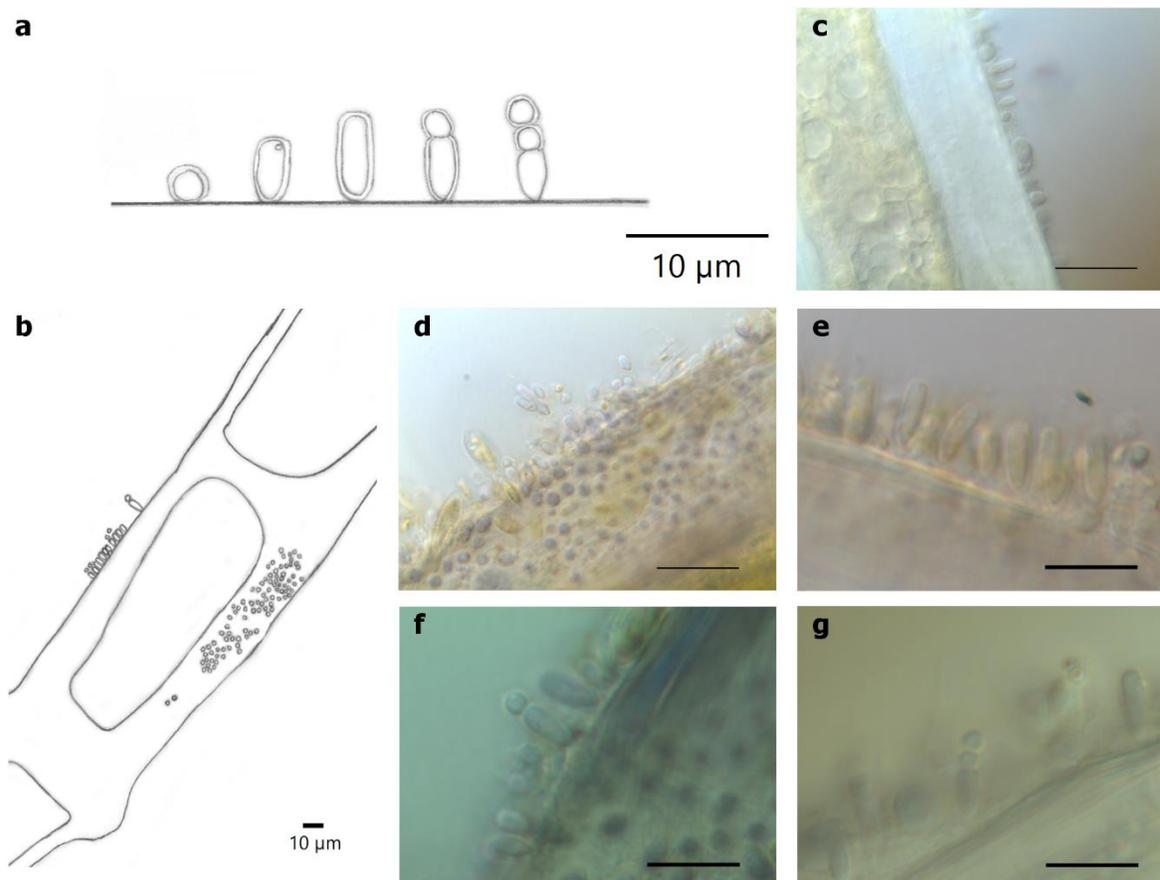


Figura 10. a) De izquierda a derecha: Exocito sobre el sustrato, células vegetativas de distinto tamaño y células vegetativas con uno y dos exocitos, respectivamente; **b, d)** Crecimientos de *C. minutus* sobre *Cladophora glomerata* (d: escala 20 µm, 100x); **c, e)** Células vegetativas y exocitos (sólo en c) sobre *C. glomerata* (c: escala 20 µm, 100x; e: escala 10 µm, 100x); **f, g)** Células con uno y dos exocitos respectivamente (escala 10 µm, 100x).

FAMILIA Dermocarpellaceae

Cyanocystis pseudoxenococcoides (Bourrelly) Bourrelly 1970

= *Dermocarpa pseudoxenococcoides* Bourrelly en Bourrelly & Manguin 1952

Figuras 11-14

Células en grupos hemisféricos, generalmente en un arreglo radial, adheridas al sustrato por uno de sus lados; células en forma de mazo, en ocasiones ligeramente en forma de pera, esféricas o hemisféricas. Contenido celular homogéneo, color verde azul brillante. Células madre con vaina (7.3) 12-16.1 μm de ancho, células en forma de mazo o pera (6.8) 9.3-12.7 μm de largo por (3.7) 4.9-8.3 μm de ancho. Vaina evidente, delgada y hialina. Reproducción por baeocitos esféricos, 2.0-2.9 μm de ancho, rodeados por una pseudovaina.

Nota taxonómica: La población encontrada en la Cantera coincide plenamente con la forma del talo de esta especie. Las células son ligeramente más pequeñas que las descritas en la forma tipo (tomando como referencia las células más grandes, encontradas en cultivo) y difiere en el color descrito. Aunque coincide en coloración con *C. mexicana*, las células de material silvestre y de cultivo fueron mucho menores.

Observaciones en cultivo: El color de las células era de tono azul grisáceo en células pequeñas y verde olivo brillante en células esféricas de mayor tamaño, así como en los baeocitos. En cultivo, se encontraron tamaños celulares muy grandes: células madre con vaina (esféricas) 22.2-29.9 μm de ancho y en células hemisféricas, hasta 20.5 μm de largo por 17.6 μm de ancho, células en forma de mazo o pera 3.4-6.8 μm de largo por (2.0) 2.9-5.3 μm de ancho, células irregulares (2.5-3.9) 4.6-8.3 (12.3) μm de ancho. También se observó la liberación de nanocitos por ruptura de la célula (esporangio).

Caracterización ambiental: Epífita en muestras de *Cladophora glomerata*. Temperatura: 15.4°C, pH: 6.4, Conductividad: 382 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Irradianza: 366.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 1.66 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 10.6 mg L^{-1} .

Forma de vida y distribución: Esta especie solo ha sido descrita de agua dulce y en forma de vida epilítica, de las Islas Guadalupe.

Figura 11

Cyanocystis pseudoxenococcoides

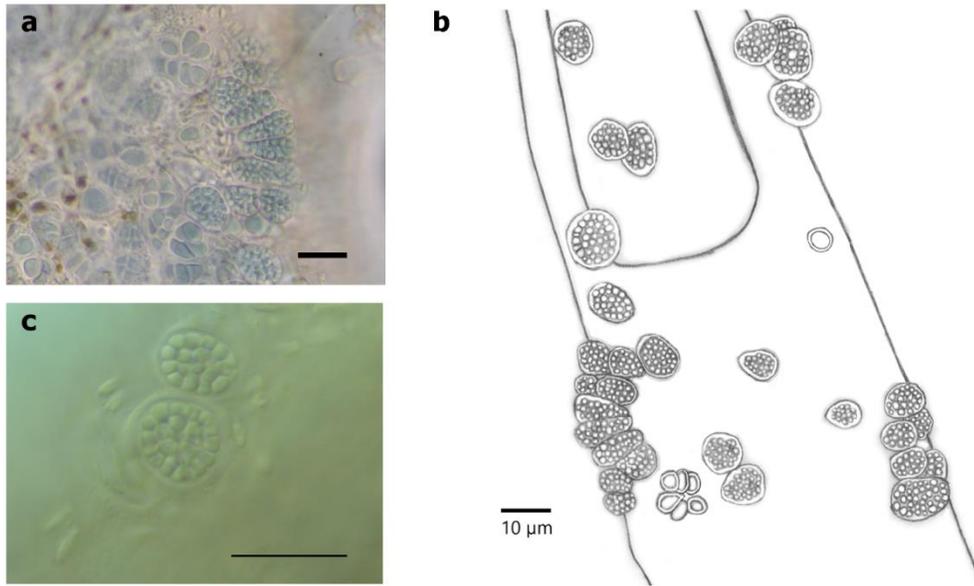


Figura 11. **a, b)** Crecimientos densos de *Cyanocystis pseudoxenococcoides* sobre *Cladophora glomerata*; **c)** Detalle de baecitos dentro de células esféricas. **a,b:** escala 20 µm, 40x; **c:** escala 20 µm, 100x.

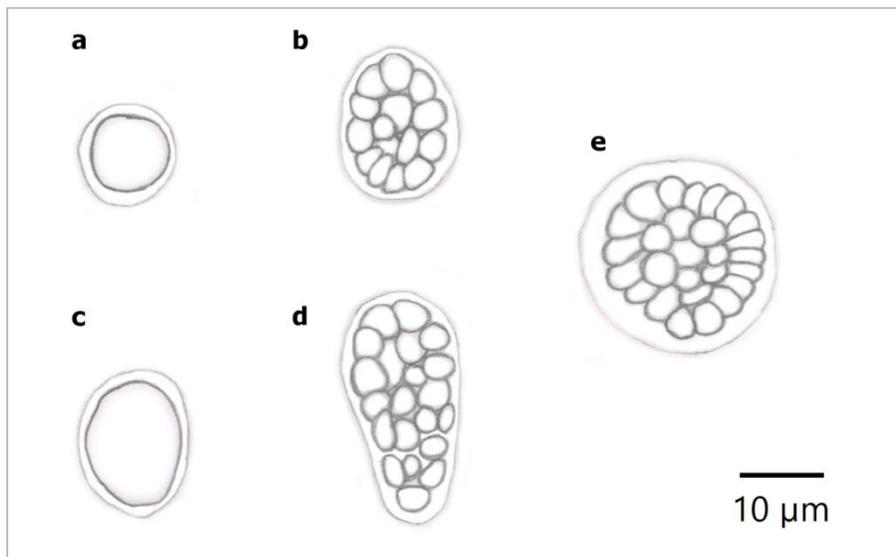


Figura 12. **a)** Célula vegetativa esférica; **c)** Célula vegetativa ovalada; **b,d,e)** Células con baecitos: b, célula hemisférica (b), célula ovalada (d), célula esférica muy grande (e).

Cultivo y Ciclo de vida:

En el cultivo de *Cyanocystis pseudoxenococcoides* se encontraron células madre, células vegetativas, células en fisión múltiple y baecitos rodeados por una vaina (esporangio) (fig. 13). El ciclo de vida se realizó con las muestras de campo y de cultivo (fig. 14).

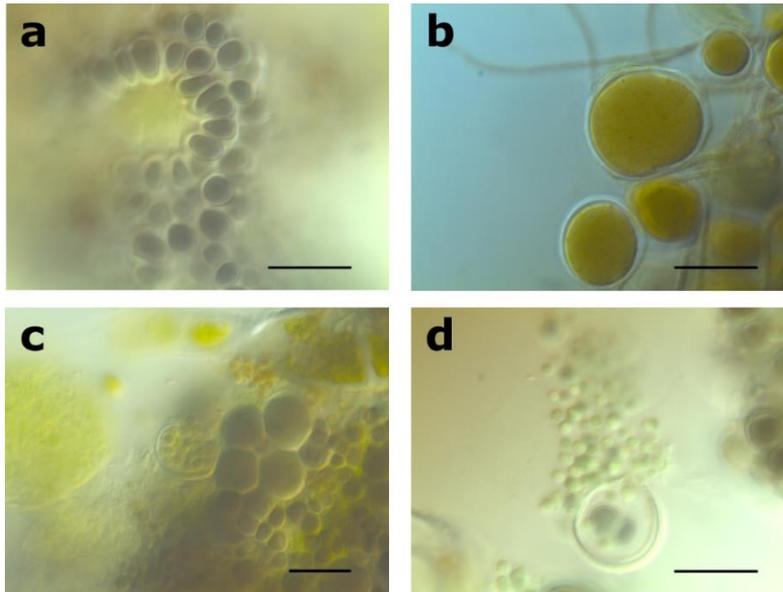


Figura 13. Distintas células en cultivo de *Cyanocystis pseudoxenococcoides* (cultivos de junio 2014; a, b, d: Canal, c: Arroyo). **a)** Células vegetativas ovaladas, **b)** células madre, **c)** células vegetativas y nanocitos rodeados por pseudovaina (esporangio), **d)** pseudovaina (esporangio) liberando nanocitos. Escala 20 μm , a, b, d: 100x; c: 40x.

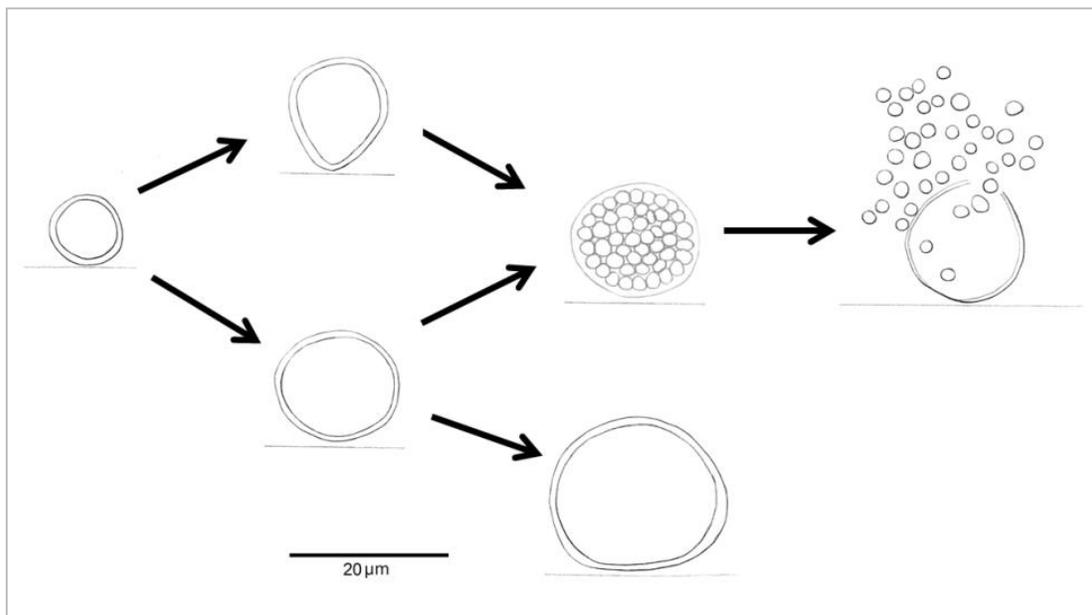


Figura 14. Reconstrucción parcial del ciclo de vida de *Cyanocystis pseudoxenococcoides*. Se ilustran sólo las células observadas en cultivo. Se observaron células vegetativas esféricas y en forma de mazo o pera, así como células esféricas muy grandes (por lo que fueron identificadas como células madre) y otras células que formaban baecitos, los cuales eran liberados de la pseudovaina o esporangio.

FAMILIA Xenococcaceae

Xenococcus bicudo Montejano, Gold-Morgan et Komárek 1993

Figuras 15-18

Células en grupos más o menos densos, en ocasiones solitarias, formando colonias blastoparénquimatosas irregulares y continuas sobre el sustrato (algas filamentosas). Células sésiles, esféricas, hemisféricas o irregulares, contenido azul-grisáceo a violeta, homogéneo, frecuentemente con algunos gránulos cafés; células esféricas (3.9) 5.1-6.8 (10.7) μm de ancho, células en fisión binaria (1.5) 2.4-4.9 μm de ancho. Ocurre fisión binaria sucesiva en las células vegetativas de manera perpendicular al sustrato, en ocasiones alternando planos horizontales con verticales, formando filas o colonias que están rodeadas por una vaina amplia y evidente, mientras que la vaina de las células vegetativas es delgada y hialina. Los nanocitos se forman principalmente por fisión binaria repetida (sin una vaina durante el proceso), mientras que la fisión múltiple casi simultánea y la fisión combinada (binaria y múltiple) fueron ocasionales. Nanocitos esféricos, generalmente adheridos al sustrato, sin vaina común (tipo II, por fisión binaria repetida) 1-1.9 μm de ancho, nanocitos tipo I (por fisión múltiple casi simultánea, rodeados por una vaina) 1.9-2.9 μm de ancho.

Nota taxonómica: Difiere en el tamaño de los nanocitos, al ser más pequeños que en la descripción original.

Observaciones en cultivo: Las células en fisión binaria y las células pequeñas rodeadas por una vaina, eran de color verde-azul brillante (fig. 17 b y c).

Caracterización ambiental: Epífita en muestras de clorofitas filamentosas (*Cladophora glomerata* y *Rhizoclonium hieroglyphicum*) y epixílica en muestras de *Buddleja cordata*. ARROYO. Temperatura: 14.0-17.3°C, pH: 6.5-7.1, Conductividad: 367-412 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 2.3-4.5 mg L^{-1} , Irradianza: 212.2-1,466.0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.01-1.33 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.6-9.3 mg L^{-1} .

CANAL. Temperatura: 14.6-16.4°C, pH: 5.3-7.5, Conductividad: 373-421 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 0.9-3.0 mg L^{-1} , Irradianza: 2.7-2,006.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.02-1.66 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.8-12.3 mg L^{-1} .

Forma de vida y distribución: Epífito de algas filamentosas sumergidas, como *Cladophora* sp., en ríos cristalinos, neutros o ligeramente alcalinos y mineralizados. Descrito únicamente en México, de la región Central: San Luis Potosí, Puebla y Morelos (en este último, además fue encontrado sobre *Rhizoclonium* sp., en un arroyo de aguas duras y corriente rápida).

Referencias de herbario. Arroyo: CM 166 (octubre 2012), CM 201 (febrero 2013), CM 209 (marzo 2013), CM 259 (septiembre 2013). Canal: CM 182 (noviembre 2012), CM 194 (enero 2013), CM 204 (febrero 2013), CM 213 (marzo 2013), CM 221 (abril 2013), CM 230 (mayo 2013), CM 237 y CM 238 (junio 2013), CM 247 (julio 2013). Referencia de cultivo. Canal: CM 288 (mayo 2014), CM 292 (junio 2014).

Figura 15

Xenococcus bicudo

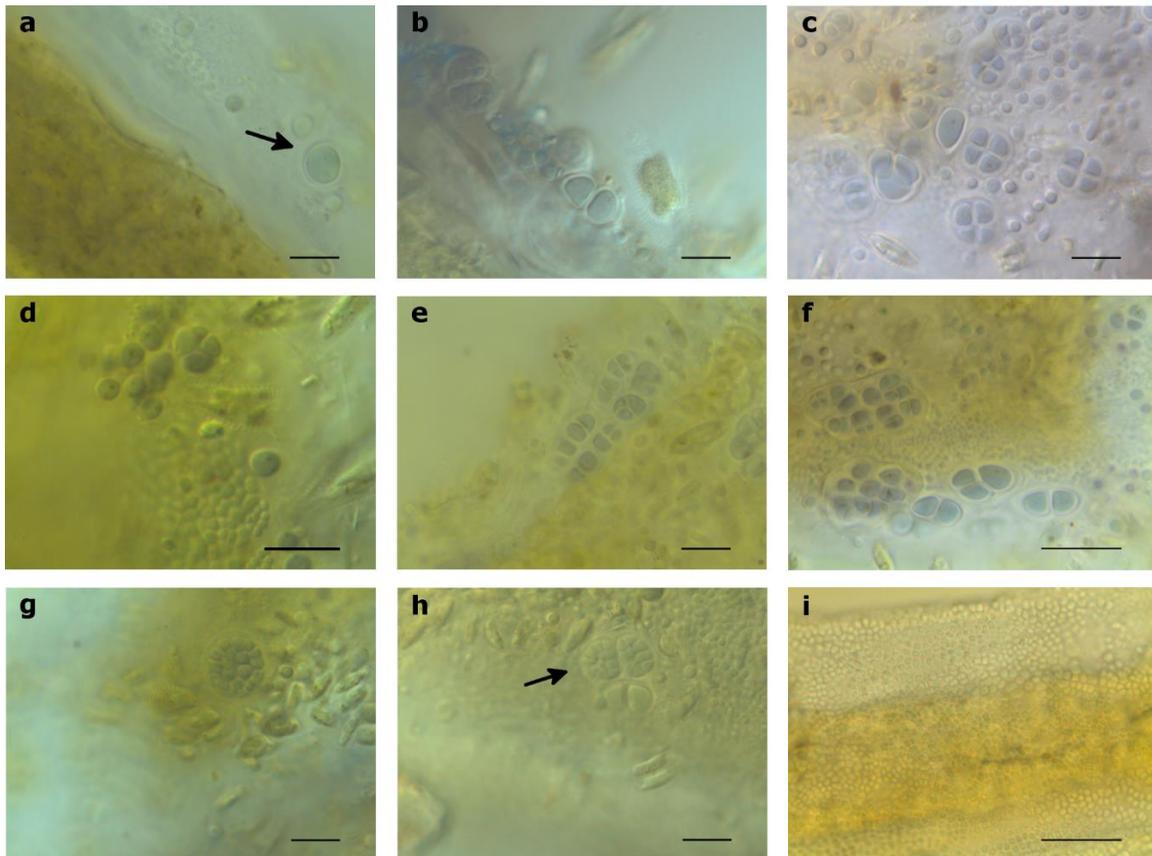


Figura 15. **a)** Célula vegetativa; **b, c)** Células en fisión binaria, formando de 2 a 4 células respectivamente; **d)** Nanocitos tipo I; **e)** Células en fisión binaria sucesiva, formando hileras de células; **f)** Grupos de células, el acomodo de las células pudo ser obtenido por fisión múltiple y/o fisión combinada (binaria y múltiple) **g, h)** Baecitos (podría corresponder a los nanocitos tipo I), rodeados por una vaina, en el primer caso se observa una célula vegetativa y en el segundo, una célula en fisión binaria; **i)** Nanocitos tipo II (sin vaina, formados por fisión binaria repetida. **a-e y g-h:** Escala 10 μ m, 100x; **f, i):** Escala 20 μ m, 1000x.

Figura 16

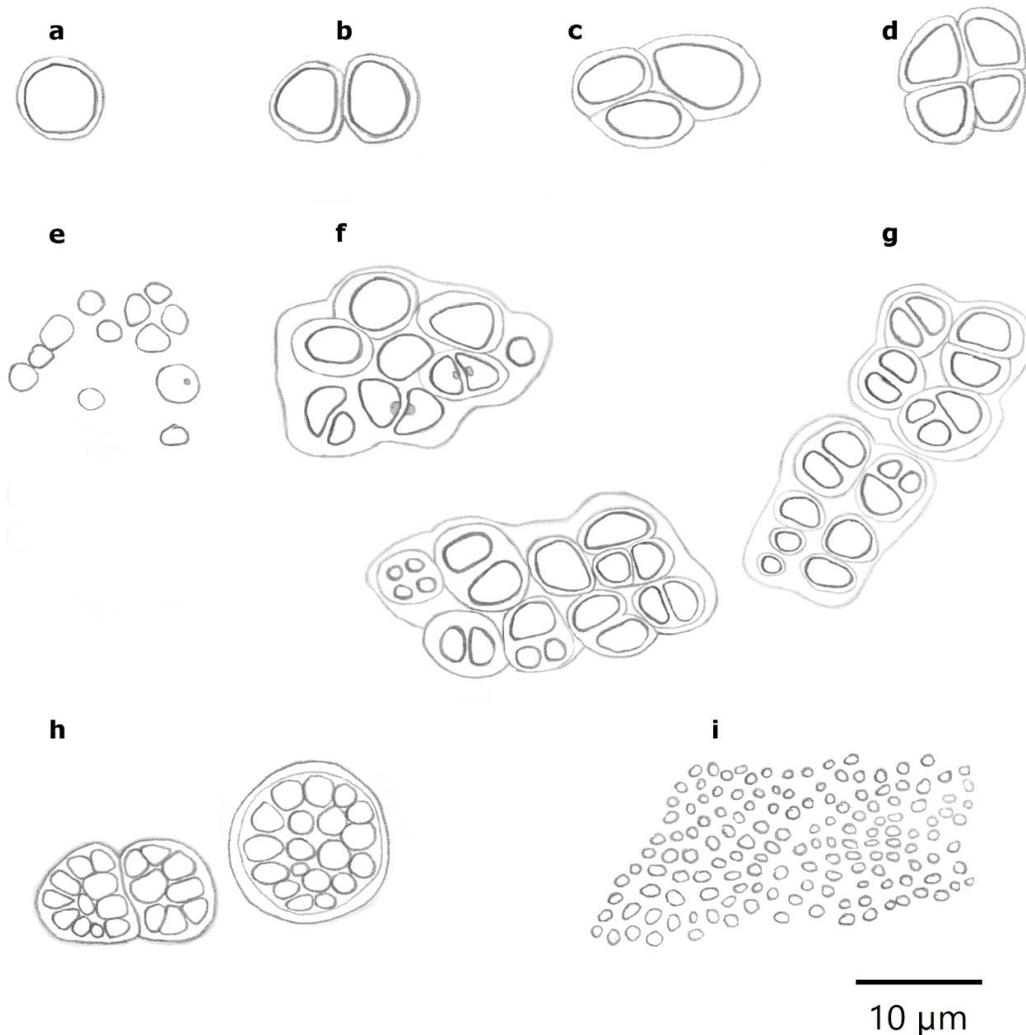


Figura 16. a) Célula vegetativa; **b, d)** Células en fisión binaria, formando de 2 a 4 células respectivamente; **c)** Células formando 3 grupos de células, pudieron formarse por fisión combinada; **e)** Nanocitos tipo I; **f)** Grupos de células, el acomodo de las células pudo ser obtenido por fisión múltiple y/o fisión combinada (binaria y múltiple); **g)** Células en fisión binaria sucesiva, formando hileras de células; **h)** Baecitos (podría corresponder a los nanocitos tipo I), rodeados por una vaina, tanto en una célula en fisión binaria, como una célula vegetativa muy grande; **i)** Nanocitos tipo II (sin vaina, formados por fisión binaria repetida).

Cultivo y Ciclo de vida: En cultivo se encontró que las células de *X. bicudo*i crecían paulatinamente, primero los nanocitos, luego las células en fisión binaria múltiple y finalmente agrupaciones densas de células (fig. 17), con lo cual se realizó el ciclo de vida (fig. 18).

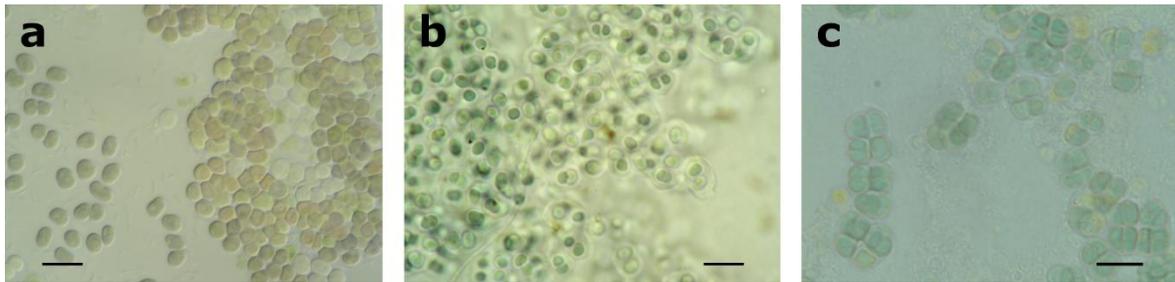


Figura 17. Células en cultivo de *Xenococcus bicudo*i (cultivo de mayo 2014, Canal). **a)** células irregulares (lado izquierdo) y nanocitos (lado derecho), **b)** células pequeñas rodeadas por una vaina, **c)** células en fisión binaria, rodeadas por una vaina. Escala 10 μ m, 100x.

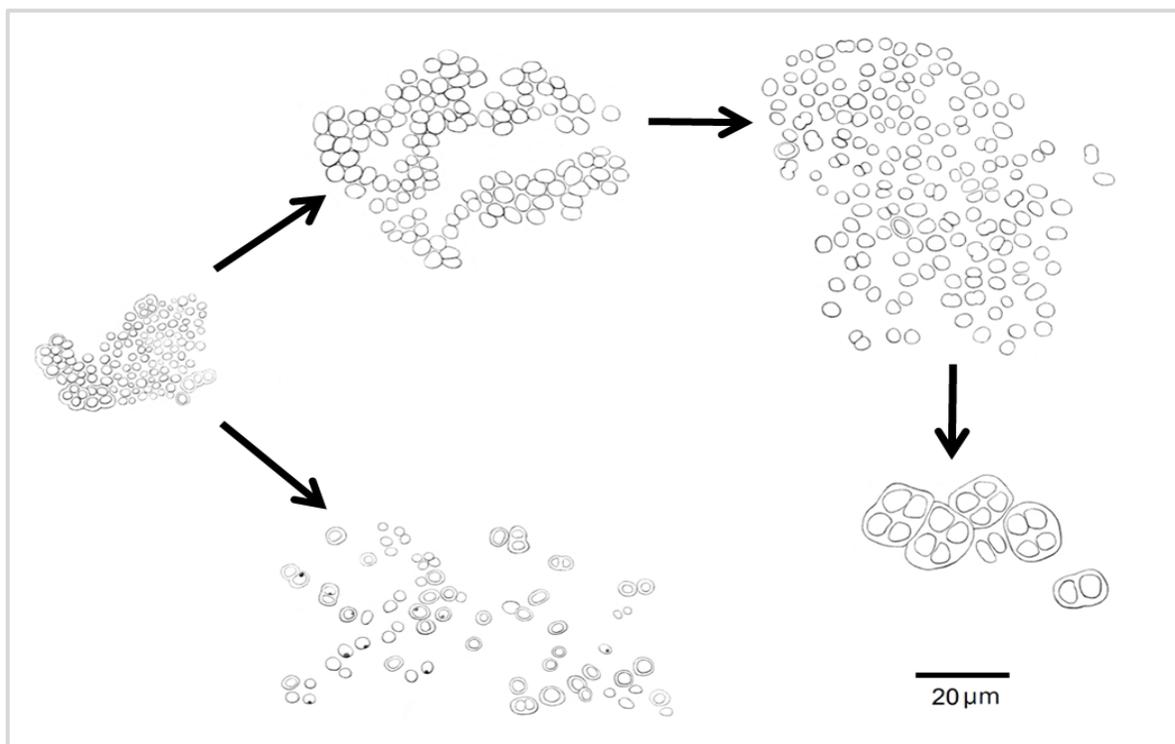


Figura 18. Reconstrucción parcial del ciclo de vida de *Xenococcus bicudo*i. En esta especie se observó, por un lado, el desarrollo de células pequeñas (probablemente nanocitos) hasta células de mayor tamaño, en fisión binaria. Por otra parte, se observó en uno de los primeros cultivos, un tipo de células en fisión binaria (probablemente múltiple o sucesiva), las cuales se encontraban rodeadas por una vaina, como en las muestras de campo.

FAMILIA Xenococcaceae

Xenococcus lamellosus Gold-Morgan, Montejano et Komárek 1994

Figuras 19-22

Células en grupos más o menos densos, rara vez solitarias; células esféricas o piriformes, a veces hemisféricas, contenido homogéneo o finamente granulado, color verde-azul brillante o violeta, (5.9) 6.8-12.3 (14.8) μm de ancho; vaina lamelada, muy evidente en las células con fisión binaria y en ocasiones en las células esféricas (pero no evidente en todas las células), amplia y firme, 6.8-16 (19.8) μm de ancho. Fisión binaria poco frecuente, división nanocítica únicamente por tipo *Gilkeyae*, en las muestras no se encontraron las células en este tipo de división liberando nanocitos y tampoco nanocitos dentro de la vaina abierta. Células en división nanocítica 12.7-14.1 μm de ancho, nanocitos 1.9-2.9 μm de ancho.

Nota taxonómica: Difiere de la original por la mayor densidad de los crecimientos, vaina lamelada no evidente en todos los tipos de células y nanocitos más pequeños.

Observaciones en cultivo: Se desarrollaron células madre y células vegetativas esféricas, pero ninguno de los otros tipos celulares (fig. 21).

Caracterización ambiental: Epífita en muestras de *Cladophora glomerata*. Temperatura: 15.1-16.5°C, pH: 5.3-7.5, Conductividad: 376-390 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 0.9-3.0 mg L^{-1} , Irradianza: 24.1-2,006.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.02-1.66 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 10.3-12.3 mg L^{-1} .

Distribución: Descrita únicamente en México, como epífita de *Hydrocoleum* sp., en ríos del estado de Morelos.

Referencias de herbario. Canal: CM 182 (noviembre 2012), CM 204 (febrero 2013), CM 213 (marzo 2013), CM 221 (abril 2013), CM 237 (junio 2013), CM 247 (julio 2013). Referencia de cultivo. CM 230 (mayo 2013), CM 237 (junio 2013).

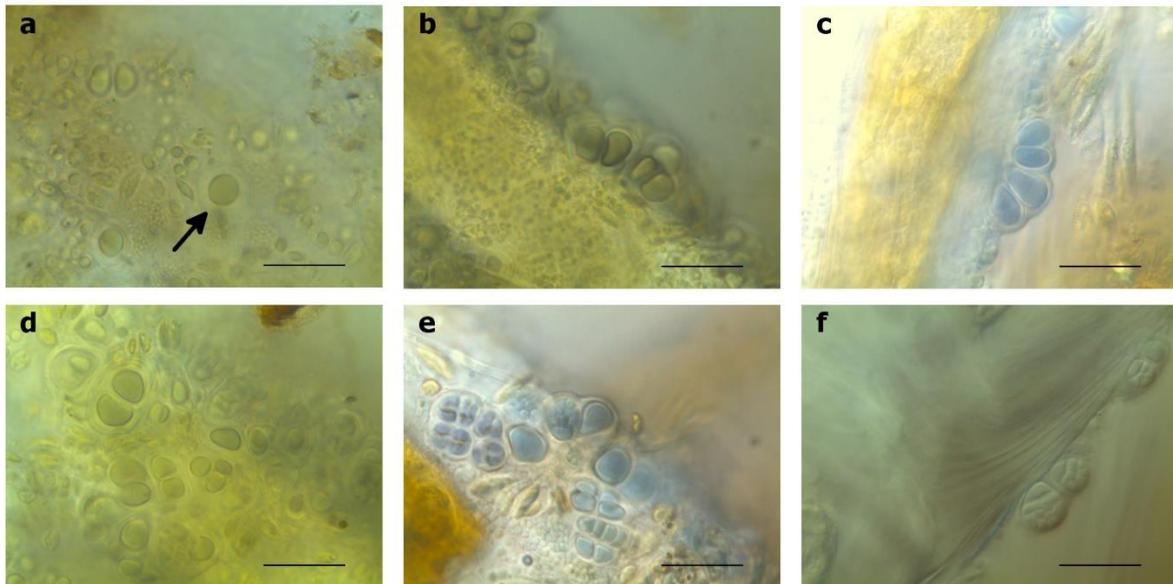
Xenococcus lamellosus

Figura 13. **a)** Célula vegetativa, rodeada de una vaina engrosada; **b)** Células ovaladas y piriformes en filas, sobre el sustrato; **c)** Células ovaladas y piriformes en un arreglo radial; **d)** Células en fisión binaria, rodeadas por una vaina amplia y lamelada; **e)** Crecimientos de diferentes tipos de células en fisión binaria (probablemente sucesiva), células piriformes y células en división tipo *Gilkeyae*; **f)** Células en división tipo *Gilkeyae*. Escala 20 μm , 100x.

Figura 20

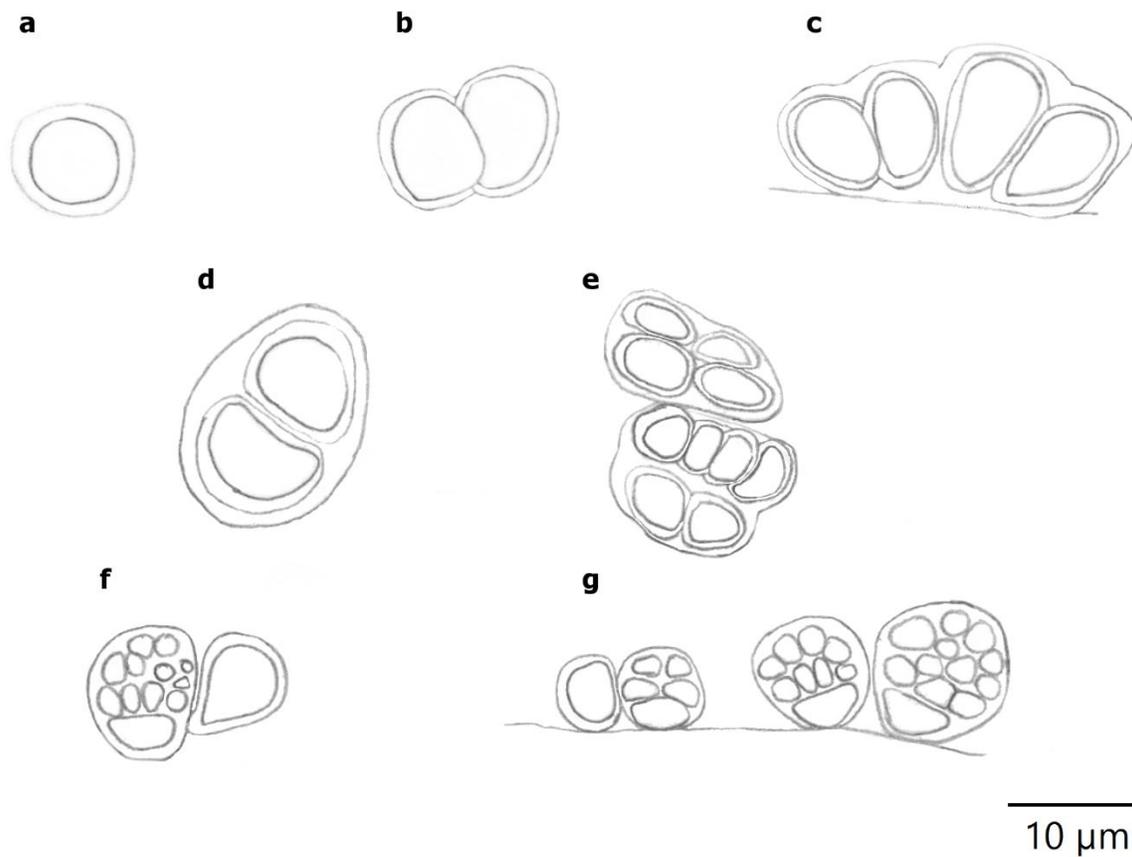


Figura 20. **a)** Célula vegetativa, rodeada de una vaina engrosada; **b)** Células ovaladas; **c)** Células ovaladas y piriformes en un arreglo radial y con vaina lamelada; **d)** Células en fisión binaria, rodeadas por una vaina amplia y lamelada; **e)** Crecimientos de diferentes tipos de células en fisión binaria (probablemente sucesiva); **f)** Células piriforme y célula en división tipo *Gilkeyae*; **g)** Célula vegetativa muy pequeña y células de distinto tamaño, en división tipo *Gilkeyae*.

Ciclo de vida: En cultivo solo se encontraron células madre y células vegetativas en fisión binaria de *X. lamellosus* (fig. 21). El ciclo de vida se representó con las células de cultivo (fig. 22).

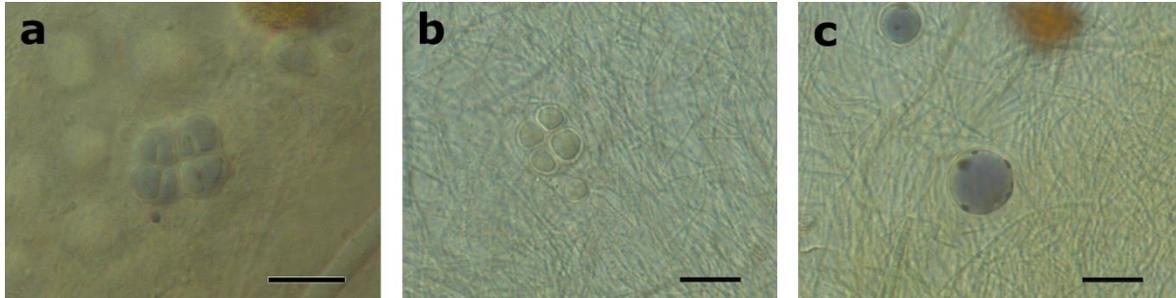


Figura 21. Células en cultivo de *Xenococcus lamellosus* (b, c: cultivo de mayo 2013, a: cultivo de junio 2013, Canal); **a, b)** células en fisión binaria, **c)** célula madre. a: escala 10 μm , 100x, b, c: escala 20 μm , 40x.

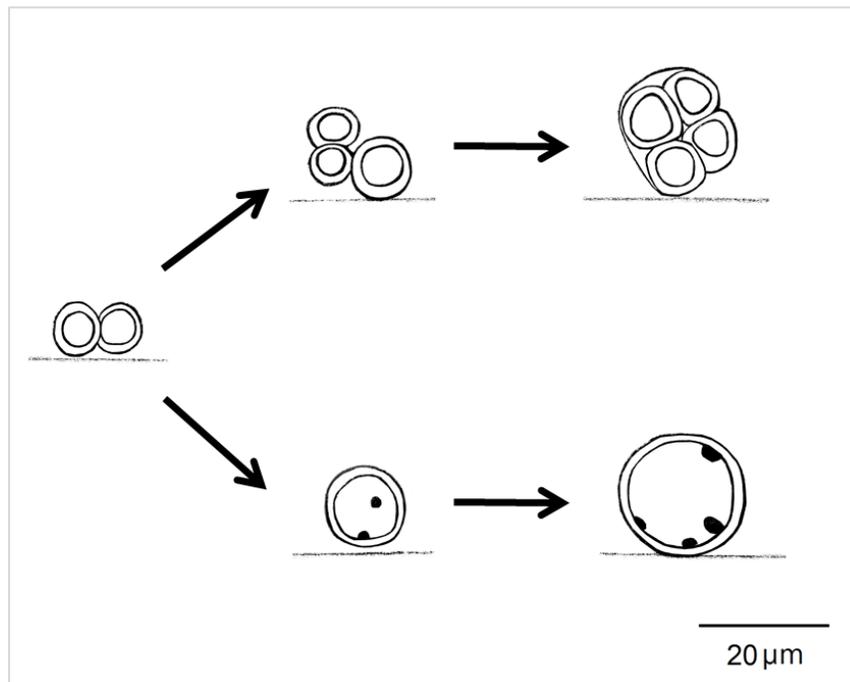


Figura 22. Reconstrucción parcial del ciclo de vida parcial de *Xenococcus lamellosus*. Se ilustran sólo las células observadas en cultivo. Algunos crecimientos sólo presentaron células en fisión binaria y otros, únicamente células vegetativas y células madre (las de mayor tamaño).

FAMILIA Hyellaceae

Pleurocapsa minor Hansgirg 1891

= *Scopulonema minus* (Hansgirg) Geitler 1942

Figura 23

Células coloniales que conforman pseudofilamentos irregulares o más o menos rectos y cortos, sus agregaciones son principalmente pseudoparenquimatosas y a veces planas; pseudofilamentos principalmente multiseriados, rara vez uniseriados, rodeados por una vaina hialina y más o menos gruesa. Células vegetativas esféricas (3.9 μm de ancho) o más o menos alargadas y un poco arqueadas (1.9 μm ancho x 3.9 μm largo) y colonias más o menos esféricas (divididas en baeocitos) de 3.4-5.9 μm de ancho, contenido celular azul grisáceo. Baeocitos de 1.9 μm de ancho.

Nota taxonómica: Las células no se encontraron en formas tan variables, además las células no presentaron tamaños intermedios respecto al intervalo de esta especie.

Caracterización ambiental: Epífita subaérea, presente en raíces de *Buddleja cordata*. Temperatura: 15.3°C, pH: 7.6, Conductividad: 391 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 1.3 mg L^{-1} , Irradianza: 655.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 1.65 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 9.5 mg L^{-1} .

Forma de vida y distribución: Se ha descrito como epilítica, costrosa, edáfica, epífita subaérea, epilítica subaérea, aerofítica y endolítica, de agua dulce, sobre calizas, rocas o tufas, sobre conchas, en arroyos kataróxicos, cascadas, ríos y litoral rocoso de lagos, en zonas de montaña europeas (Austria, Polonia), también con registros en Estados Unidos, Argentina, Taiwán y Perú. En México, existen registros de Tehuacán (Puebla), la Huasteca (San Luis Potosí), Quintana Roo y Yucatán. Se considera cosmopolita.

Referencias de herbario. Arroyo: CM 234 (junio 2013).

Pleurocapsa minor

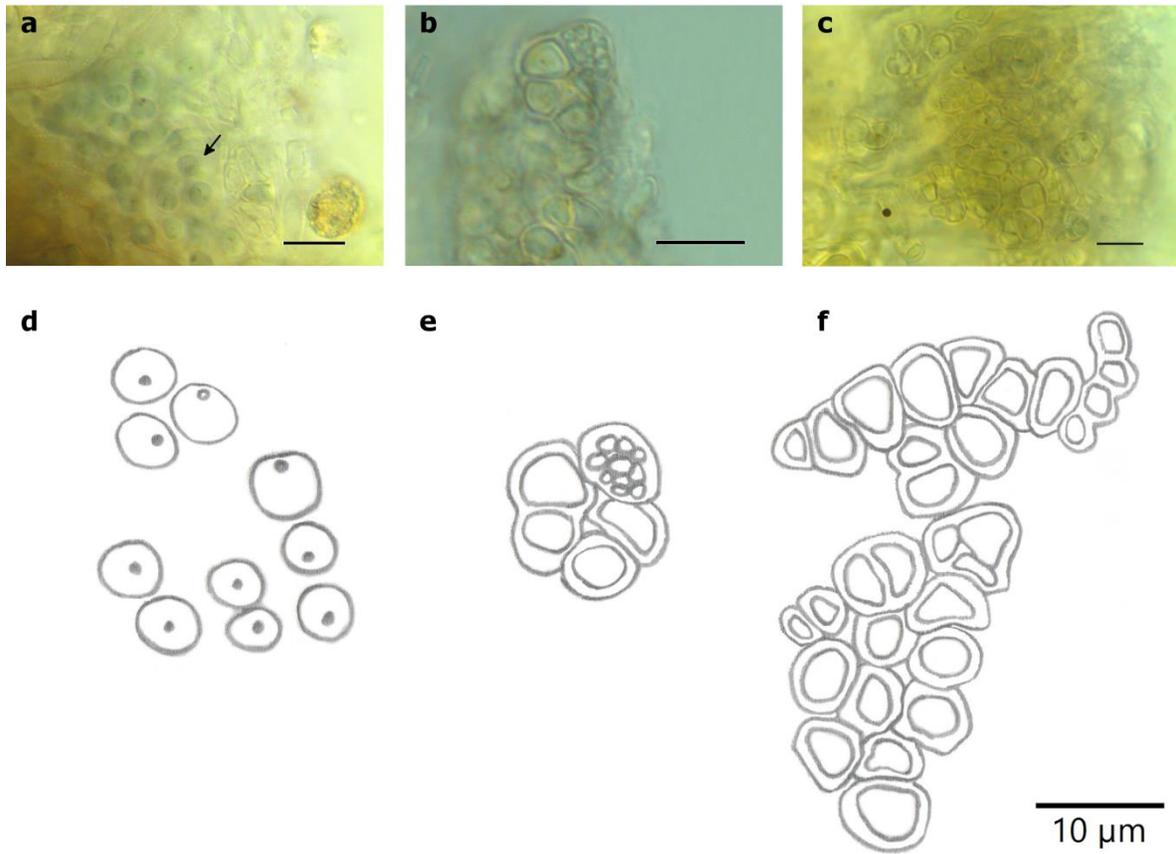


Figura 23. **a, d)** Baeocitos sobre el sustrato, *Buddleja cordata*; **b, e)** Pseudofilamento con una célula en formación de baeocitos; **c, f)** Crecimiento en forma de pseudofilamentos multiseriados. **a-c:** Escala 10 μm , 100x.

ORDEN Nostocales

FAMILIA Rivulariaceae

Calothrix gracilis f. *flexuosa*.

Figuras 24-25

Filamentos más o menos rectos, flexuosos y en ocasiones ligeramente ondulados, generalmente solitarios y heteropolares (5.9-7.3 μm de ancho en la zona apical). Vaina hialina, delgada y más o menos visible. Tricomas ligeramente constreñidos en un inicio, anchos en la base (de 4.9-6.3 μm de ancho), 2.9 μm de ancho en el medio y ligeramente más estrechos hacia el final (2.4 μm de ancho) sin llegar a formar pelos. Está conformada por células en forma de barril en la zona apical, siendo ligeramente más anchas que largas y posteriormente presenta células ligeramente cilíndricas, isodiamétricas o un poco más largas que anchas. El heterocito es apical, ligeramente aplanado (4.4-5.8 μm de ancho). No se encontraron acinetos.

Nota taxonómica: Se describe como *C. gracilis* f. *flexuosa* porque coincide morfológica y ecológicamente con los ejemplares observados en la Cantera; cabe aclarar que esta forma no está bien documentada en la literatura.

Observaciones en cultivo: Los ejemplares en cultivo permitieron describir e identificar a esta especie, ya que la muestra fijada contenía materia vegetal que dificultaba la observación de los ejemplares (fig. 25).

Caracterización ambiental: Epífita subaérea, se encontró sobre raíces de *Buddleja cordata*. Temperatura: 15.1°C, pH: 6.5, Conductividad: 392 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 4.5 mg L⁻¹, Irradianza: 462.9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 1.33 mg L⁻¹, Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.6 mg L⁻¹.

Forma de vida y distribución: La forma *flexuosa* se ha descrito únicamente de África, asociada a plantas acuáticas.

Referencias de herbario y cultivo. Arroyo: CM 259 (septiembre 2013).

Calothrix gracilis f. *flexuosa*

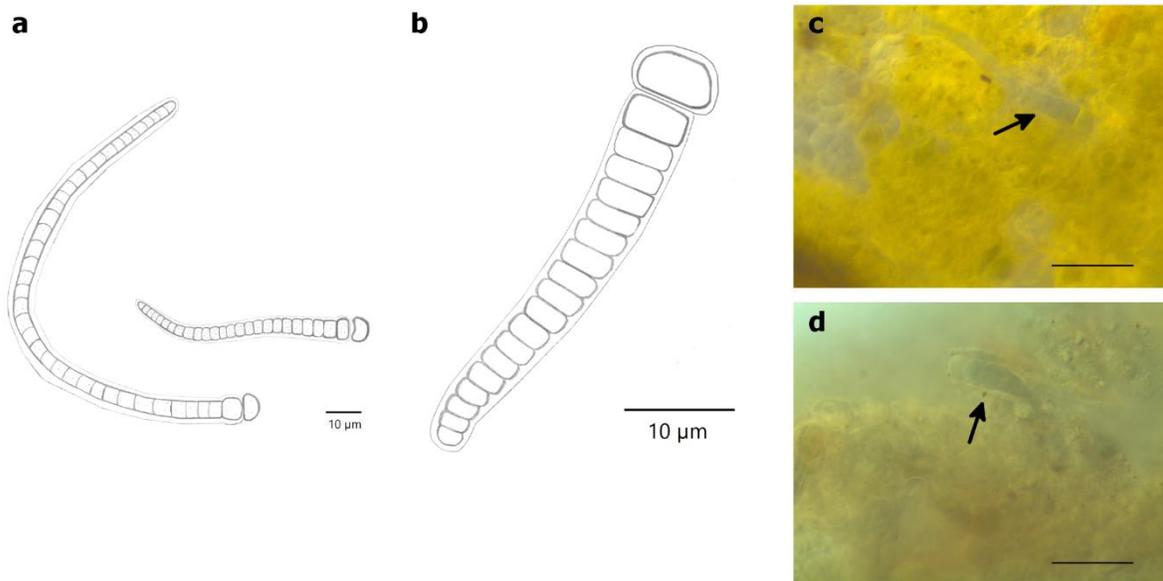


Figura 24. **a)** Filamentos mostrando su longitud máxima; **b)** Detalle de un filamento: se observa la vaina, el heterocito apical y las células alargadas; **c, d)** Forma de vida del filamento, de una muestra de raíz de tepozán (*Buddleja cordata*). **a-b):** Esquemas obtenidos a partir de cultivos; **c-d):** Escala 20 µm, 100x.

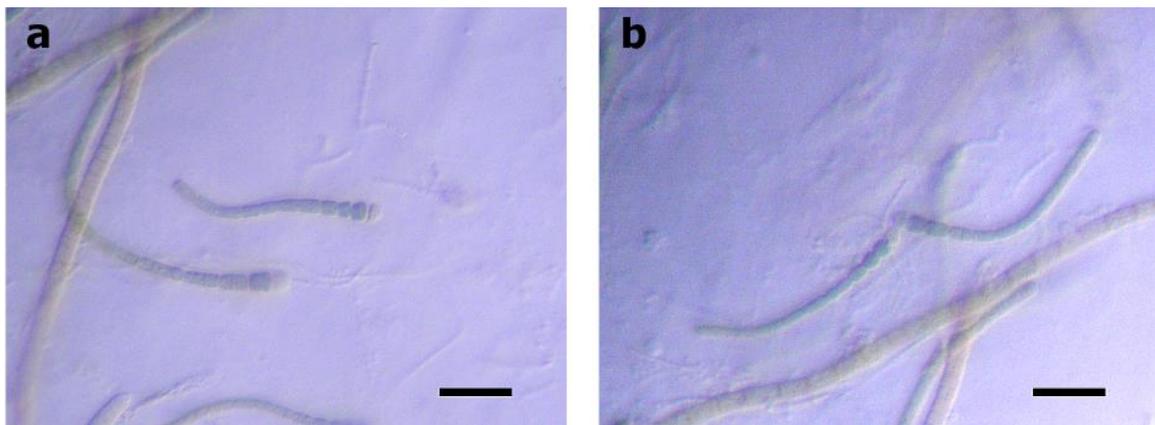


Figura 25. Cultivo de *Calothrix gracilis* f. *flexuosa* (cultivo de septiembre 2013, Arroyo) **a)** Filamentos solitarios, **b)** filamentos unidos por el heterocito apical. Escala 20 µm, 40x.

FAMILIA Nostocaceae

Nostoc Vaucher ex Bornet et Flahault 1888

Nostoc sp.

Figura 26

Filamentos flexuosos, densamente enroscados y envueltos en una vaina hialina y delgada, de 9.9 μm de ancho (parece ser un peridermo³). Células más o menos esféricas (3.9-4.6 μm de ancho) o 1.2-1.3 veces más largas que anchas (3.9-4.9 μm ancho \times 4.9-5.9 μm de largo), envueltas por una pared hialina.

Nota taxonómica: No se logró identificar hasta especie debido a que en cultivo no se obtuvieron acinetos o heterocitos y tampoco se encontraron con certeza en las muestras fijas. En la Cantera se ha reportado *N. microscopicum* en zonas cercanas al sitio donde se colectó esta muestra, sin embargo, el tamaño de *N. microscopicum* es mayor a la encontrada y se ha reportado sobre suelos húmedos. Otra especie de este género, con condiciones ecológicas similares a esta es *N. paludosum*, asociada a vegetación acuática y considerada una especie cosmopolita.

Observaciones en cultivo: El talo es de color verde olivo a verde oscuro y forma crecimientos delgados a lo largo del sustrato (ya sea en pequeños cúmulos o en forma de pseudofilamentos), que van incrementando el grosor conforme aumenta la edad del cultivo. También suele formar crecimientos macroscópicos más o menos esféricos de entre 1-4 mm de ancho. Los ejemplares en cultivo permitieron corroborar el tamaño y forma celular. El peridermo sólo fue observado en cultivo (fig. 26 a, b y d).

Caracterización ambiental: En este estudio, se encontró en forma metafítica entre filamentos de *Rhizoclonium hieroglyphicum* y como epífita subaérea de raíces de *Buddleja cordata*. Temperatura: 15.1-15.3°C, pH: 6.5-7.1, Conductividad: 380-392 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno

³ Vaina con margen firme o mucílago denso, delimitando la colonia mucilaginoso (usualmente envolviendo más tricomas/filamentos con una fina envoltura).

disuelto: 4.5 mg L⁻¹, Irradianza: 462.9-1,080.2 μmol m⁻² s⁻¹, Fósforo total: 0.16-1.33 mg L⁻¹,
Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.6-9.3 mg L⁻¹.

Referencias de herbario. Arroyo: CM 167 (octubre 2012), CM259 (septiembre 2013). Referencias de cultivo.
CM 259 (septiembre 2013).

Figura 26

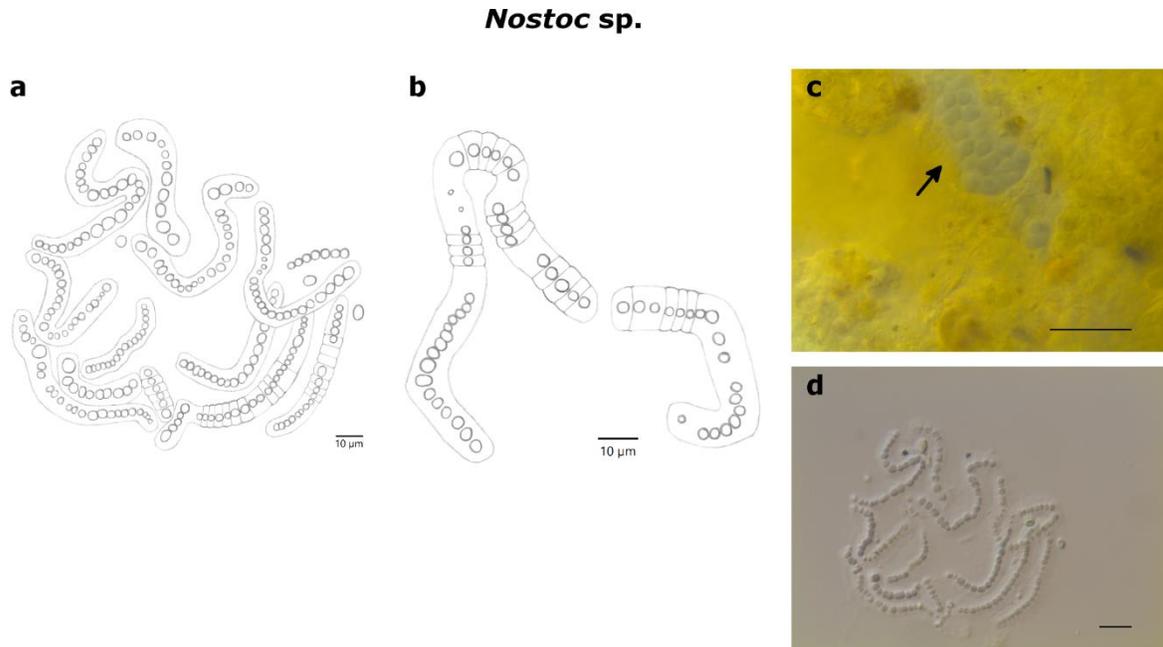


Figura 26. a-b) Filamentos moniliformes envueltos por una vaina amplia, se observan estrías en la vaina; **c)** Forma de crecimiento sobre raíces de *Buddleja cordata*, escala 20 μm, 100x; **d)** Muestra de cultivo, separando el crecimiento para observar con más detalle sus características, escala 20 μm, 40x. **a-b, d):** Obtenidos de muestras de cultivo.

ORDEN Oscillatoriales

FAMILIA Pseudanabaenaceae

Pseudanabaena catenata Lauterborn 1915

Figuras 27-28

Tricomas generalmente agregados, rara vez solitarios, con una longitud total de 73.2-271.7 μm y de hasta 326-415 μm en los filamentos con falsa ramificación (formando uno o dos tricomas), ligeramente curvados y muy flexibles. Células cilíndricas y alargadas, 1.75-3.9 (7-8) veces más largas que anchas, color azul grisáceo, constreñidas en la pared transversal, con ambos finales ampliamente redondeados (también en las células apicales), 0.9-1.65 (1.95) μm de ancho \times 2.97-5.9 (7.3-7.8) μm de largo, rara vez hasta 10.2 μm de largo. Vaina hialina, ancha y poco distinguible, 1.5-2.9 μm de ancho.

Nota taxonómica: En una muestra se encontró formando un necridio (0.976 μm de ancho \times 1.464 μm de largo), los cuales no han sido descritos para la especie.

Observaciones en cultivo: La vaina es más notoria, las células fueron menos largas que en las muestras de campo y presentaron un color verde-azul brillante y gránulos (fig. 28). Creció junto a otras algas como *Phormidium* y *Leibleinia*.

Caracterización ambiental: En la Cantera, se encontró en una forma de vida principalmente metafítica, dentro del mucílago colectado sobre *Stuckenia pectinata* y en ocasiones como epífita de *Rhizoclonium hieroglyphicum* y *Cladophora glomerata*.

ARROYO. Temperatura: 13.6-15.3°C, pH: 5.9-7.2, Conductividad: 380-433 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 0.9-4.5 mg L^{-1} , Irradianza: 1.8-1,080.2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.16-1.82 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.0-10.1 mg L^{-1} .

CANAL. Temperatura: 15.4-16.5°C, pH: 6.4-7.5, Conductividad: 373-382 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 1.2-1.5 mg L^{-1} , Irradianza: 106.1-366.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.08-1.66 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.8-11.8 mg L^{-1} .

Forma de vida y distribución: Se ha descrito como especie bentónica, epipélica, sapropelicas y perifítica, de una gran variedad de cuerpos de agua lénticos y lóticos, de zonas tropicales y templadas, por lo que está considerada como especie cosmopolita. Para el caso de ríos, se ha registrado en Inglaterra y en México, en las regiones de la Huasteca, Querétaro y Michoacán.

Referencias de herbario. Arroyo: CM 166 (octubre 2012), CM 190 (enero 2013), CM 227 (mayo 2013). Canal: CM 213 (marzo 2013), CM 229 (mayo 2013), CM 238 (junio 2013), CM 247 (julio 2013). Referencias de cultivo. CM 230 (mayo 2013), CM 237 (junio 2013), CM 288 (mayo 2014).

Figura 27

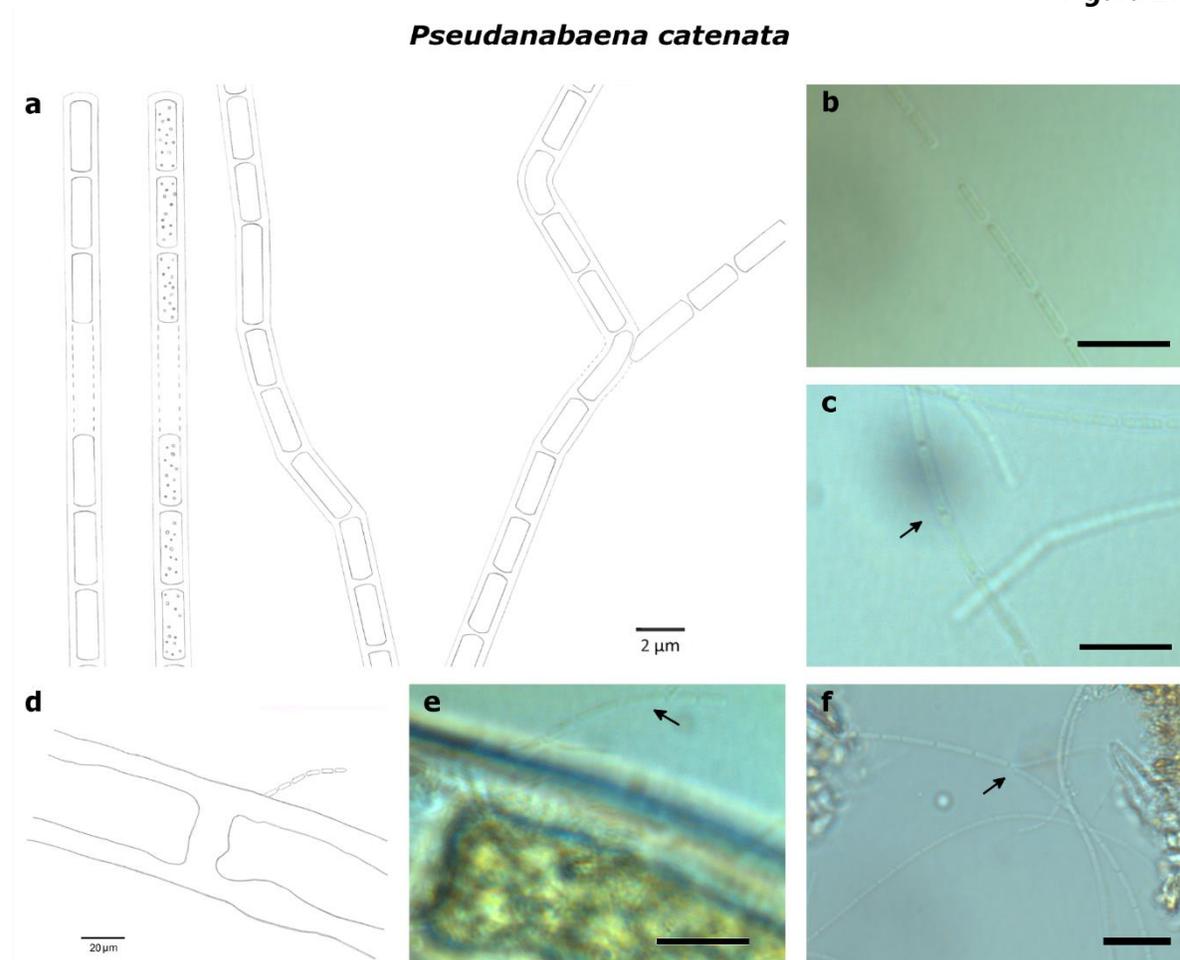


Figura 27. a) De izquierda a derecha: Filamento recto, filamento con gránulos (forma típica en cultivo), filamento ondulado y filamento con falsa ramificación; **b-c)** Filamentos rectos, con septos evidentes entre células y vaina hialina, poco distinguible (escala 10 μm , 100x); **d-e)** Tricoma epífita (e: escala 10 μm , 100x); **f)** Filamento con falsa ramificación (escala 20 μm , 40x).



Figura 28. Cultivo de *Pseudanabaena catenata* (cultivo de marzo 2013, Arroyo). a) Filamentos solitarios con gránulos, b) filamentos agrupados, también con gránulos. Vaina ligeramente visible en ambos casos. Escala 10 µm, 100x.

FAMILIA Pseudanabaenaceae

Leibleinia epiphytica (Hieronymus) Compère 1985

= *Lyngbya epiphytica* Hieronymus in Kirchner 1898 incl.

Figuras 29-30

Filamentos solitarios, rara vez en grupos pequeños, ondulados y epífitos, adheridos a lo largo del sustrato (algas filamentosas), rodeándolo mediante giros relajados o un poco cerrados. En muestras de raíces, se observaron crecimientos muy densos. Vaina hialina, distinguible en muestras de raíces. Tricomos verde-azul pálido y con septos evidentes entre las células, no constreñidas en la pared transversal. Células casi isodiamétricas o ligeramente más largas o más cortas que anchas, 1.0-1.7 (2) µm de ancho x (0.8) 1.0-1.8 µm de largo, vaina 2.0-2.6 µm de ancho en muestras epixílicas y de 2.0-2.3 µm de ancho en cultivo. Célula apical ampliamente redondeada.

Nota taxonómica: La única diferencia con la descripción original es la vaina, la cual nunca se observó pigmentada.

Observaciones en cultivo: Tuvo crecimientos abundantes en cultivo, difícil de separar de otras especies filamentosas. La vaina fue distinguible en las muestras de cultivo.

Caracterización ambiental: Epífita en muestras de *Rhizoclonium hieroglyphicum* y *Cladophora glomerata*, así como epixílica de raíces y madera en *Buddleja cordata*.

ARROYO. Temperatura: 14.0-17.3°C, pH: 6.6-8.3, Conductividad: 367-433 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 0.9-6.6 mg L^{-1} , Irradianza: 86.8-1,466.0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.01-1.82 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 7.9-10.1 mg L^{-1} .

CANAL. Temperatura: 15.3-15.4°C, pH: 6.4-6.6, Conductividad: 382-383 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 3.0 mg L^{-1} , Irradianza: 144.7-366.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.02-1.66 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 10.6-11.3 mg L^{-1} .

Forma de vida y distribución: Se considera una especie cosmopolita y con presencia de diversas formas de vida, cuenta con registros en muchos países de todos los continentes. En México, se tienen registros como epífita en Tehuacán (Puebla), Tecocomulco, Hidalgo, San Luis Potosí y la Huasteca, siendo ésta última de ríos.

Referencias de herbario. Arroyo: CM 153 (septiembre 2012), CM 201 (febrero 2013), CM 209 (marzo 2013), CM 219 (abril 2013), CM 226 y CM 227 (mayo 2013), CM 233, CM 234 y CM 236 (junio 2013). Canal: CM 204 (febrero 2013), CM 247 (julio 2013). Referencia de cultivo. CM 211 (marzo 2013), CM 230 (mayo 2013), CM 237 (junio 2013), CM 288 (mayo 2014).

Leibleinia epiphytica

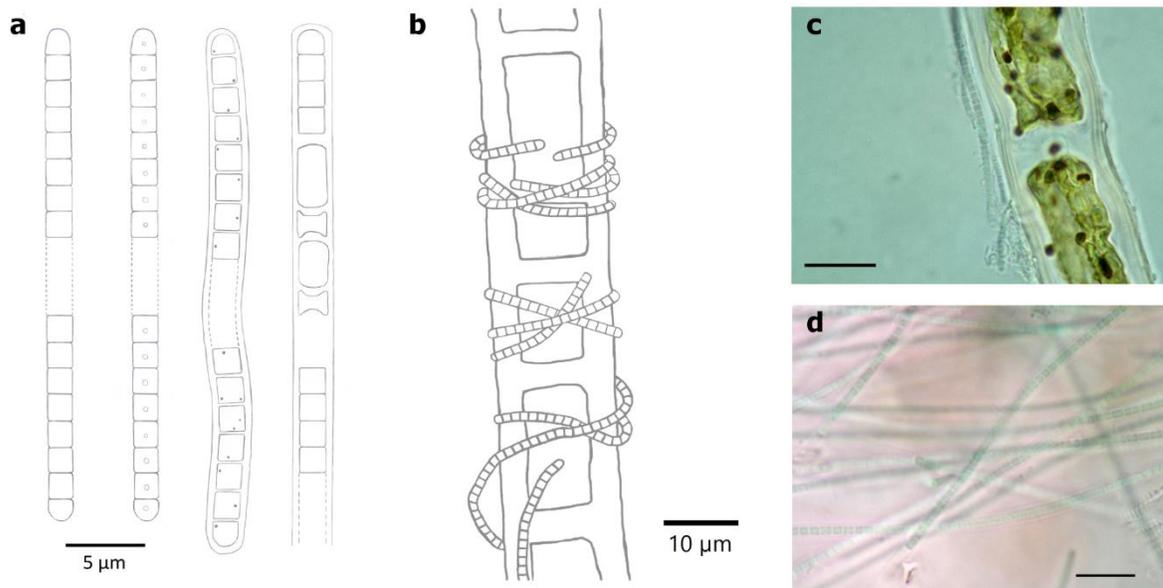


Figura 29. **a)** De izquierda a derecha: Tricoma recto, tricoma con gránulo en cada célula, filamento ondulado, con gránulos y filamento con hormogonios y necridios; **b)** *Leibleinia epiphytica* enroscada sobre *Rhizoclonium hieroglyphicum*; **c)** *L. epiphytica* sobre el sustrato, antes de enroscarse; **d)** Crecimiento de *L. epiphytica* sobre madera de *Buddleja cordata*, en estos crecimientos no se observan filamentos enroscados. **c-d:** Escala 10 μm , 100x.

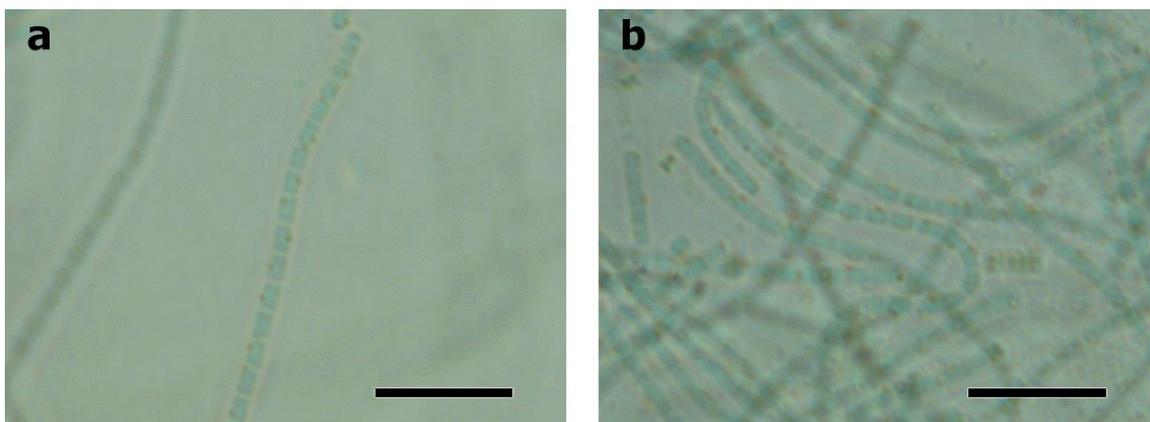


Figura 30. Cultivo de *Leibleinia epiphytica* (cultivo de junio 2013, Canal). **a)** Filamento solitario, **b)** filamentos agrupados. En cultivo, se observaron filamentos bastante flexuosos y con vaina hialina. Escala 10 μm , 100x.

FAMILIA Pseudanabaenaceae

Heteroleibleinia aquae-dulcis (Skuja) Anagnostidis 2001

= *Lyngbya nordgaardii* var. *aquae-dulcis* Skuja 1937

Figuras 31-32

Filamentos solitarios y curvados, adheridos por un extremo al sustrato (sobre *Cladophora* y mucílago de diatomeas epífitas). Generalmente largos, de longitud variable; los filamentos más cortos van de 35-63.5 μm y los más largos hasta aproximadamente 380 μm . Vaina hialina y poco evidente, 2.4 μm de ancho, rara vez observada en las muestras silvestres, aparentemente facultativa. Tricomas azul grisáceo a violeta, contenido celular ligeramente granuloso, constreñidos en la pared transversal y células apicales ampliamente redondeadas. Células en forma de barril, isodiamétricas (1.3-1.9 μm) o más cortas que anchas, 1.5-1.9 μm de ancho x 1-1.9 μm de largo.

Nota taxonómica: Difiere en el color de la célula y en medidas de la célula (algunos ejemplares eran más cortos). No está descrita su longitud total, pero se incluye en esta descripción porque en otras especies del género es común describir esta característica.

Observaciones en cultivo: En cultivo, la vaina fue evidente y abierta en los extremos finales, también se encontraron hormogonios y necridios, aunque en la descripción del género se consideran dudosos. (fig. 32).

Caracterización ambiental: Encontrada como epífita en muestras de *Cladophora glomerata*. Temperatura: 14.6-15.6°C, pH: 5.3-7.4, Conductividad: 373-421 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 0.9-5.8 mg L^{-1} , Irradianza: 2.7-2,006.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.15-1.66 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.8-12.3 mg L^{-1} .

Distribución: Únicamente descrita como especie planctónica, epífita sobre algas filamentosas (*Lyngbya kützingii* y *Pseudochantrantzia* sp.) y sobre detritos de aguas termales de Manhao, en la Provincia de Yünna (China), como una nueva variedad de *Lyngbya nordgaardii* (var. *aquae-dulcis*). Skuja la registra como una especie termal (colectada a 25°C), alrededor de 10°C debajo de la temperatura a la que se colectó en Cantera.

Referencias de herbario. Canal: CM 182 (noviembre 2012), CM 194 (enero 2013), CM 221 (abril 2013), CM 230 (mayo 2013), CM 247 (julio 2013), CM 254 (agosto 2013). Referencias de cultivo. Canal: CM 237 (junio 2013), CM 288 (mayo 2014), CM 292 (junio 2014).

Figura 31

Heteroleibleinia aquae-dulcis

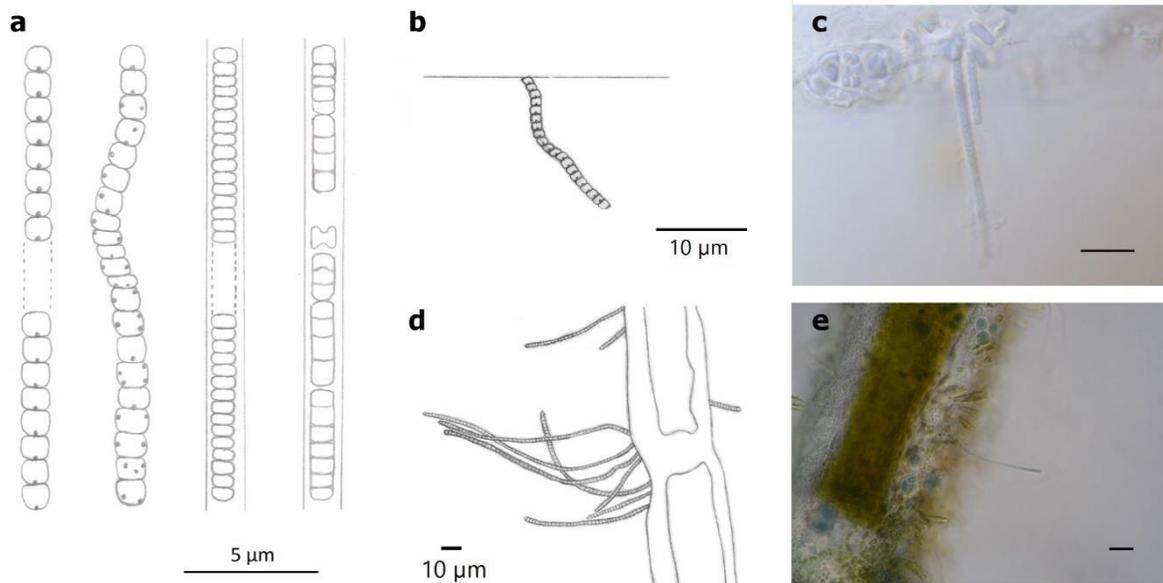


Figura 31. **a)** De izquierda a derecha: Tricoma con un gránulo en la pared transversal, tricoma enroscado, como se observó en muestras de campo, filamento con células más anchas que largas y filamento con necridios y hormogonios (los filamentos se observaron en cultivo); **b, c)** Tricoma ligeramente ondulado, sobre el sustrato, **c:** escala 10 µm, 100x; **d,e)** Tricomas de distinta longitud sobre el sustrato, **e:** escala 20 µm, 40x.

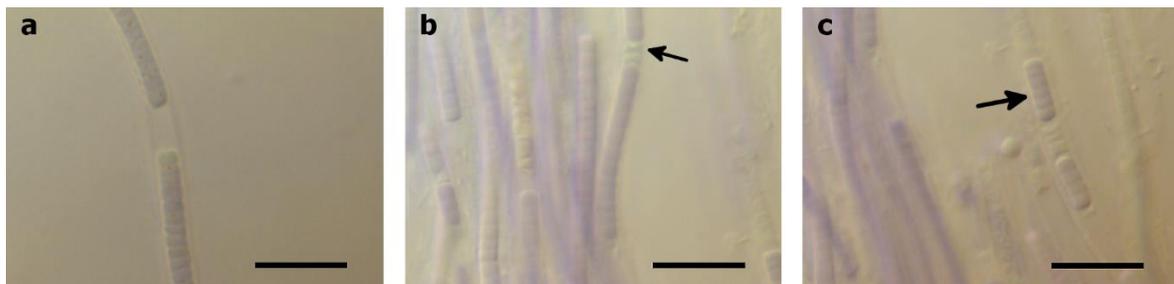


Figura 32. Cultivo de *Heteroleibleinia aquae-dulcis* (cultivo de mayo 2014, Canal). **a)** Filamento con gránulos, detalle de las células apicales, **b)** Necridios, **c)** Hormogonios. Escala 10 µm, 100x.

FAMILIA Phormidiaceae

Phormidium aerugineo-caeruleum (Gomont) Anagnostidis et Komárek 1988

= *Lyngbya aerugineo-coerulea* Gomont 1892; *Lyngbya aerugineo-coerulea* f. *minor* Elenkin 1949 incl.; *Lyngbya aerugineo-coerulea* fa. sensu Geitler in Geitler & Ruttner 1935; *Lyngbya aerugineo-coerulea* fa. sensu Anagnostidis 1961; *Lyngbya tenuis* var. *aerugineo-coerulea* (Kützing) Kirchner ex Hansgirg 1892?

Figuras 33-35

Filamentos solitarios y dispersos, (5.8) 6.3-6.8 (7.3) μm de ancho. Vaina delgada, firme y hialina, probablemente facultativa debido a que no se observó en todas las muestras. Tricomas verde-azules o azul grisáceo, (3.3-3.9) 4.1-5.9 μm de ancho, pared transversal no granulada. Células más anchas que largas o isodiamétricas y no constreñidas, hasta de 1/3 del ancho, (1.9) 2.5-3.3 μm de largo; contenido irregular, en ocasiones con gránulos. Células apicales redondeadas. Se reproducen formando hormogonios, no se observaron células necríticas en muestras de campo.

Nota taxonómica: En general es muy similar morfológicamente a la descripción original, pero las células no llegan a ser tan largas, lo cual coincide con las medidas de longitud (1.98-3.06 μm) reportadas previamente para esta especie en Morelos (Valadez *et al.*, 1996).

Observaciones en cultivo: En cultivo, su talo es coriáceo y al principio ligeramente mucilaginoso, de color verde oscuro a negruzco (fig. 34). Además, se observó la formación de necridios y hormogonios en cultivo (fig. 35).

Caracterización ambiental: Encontrada como epífita y en ocasiones perífita, en muestras de *Rhizoclonium hieroglyphicum* y *Cladophora glomerata*, y como parte del perifiton de *Stuckenia pectinata*.

ARROYO. Temperatura: 13.6-17.3°C, pH: 5.9-7.8, Conductividad: 367-433 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 0.9-4.5 mg L^{-1} , Irradianza: 1.8-1,466.0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.01-1.82 mg L^{-1} , Nitrógeno inorgánico disuelto: 8.0-10.1 mg L^{-1} .

CANAL. Temperatura: 14.6-16.5°C, pH: 5.3-7.5, Conductividad: 380-421 $\mu\text{S cm}^{-1}$, Oxígeno disuelto: 0.9-3.0 mg L⁻¹, Irradianza: 2.7-2,006.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Fósforo total: 0.02-1.66 mg L⁻¹, Nitrógeno inorgánico disuelto: 10.3-12.3 mg L⁻¹.

Forma de vida y distribución: Registrado principalmente como especie bentónica y epífita en aguas corrientes y estancadas, sobre lodo, en cultivos de arrozales y sobre plantas muertas en putrefacción de diversas localidades (Europa, África, Norteamérica, Argentina, Australia, Brasil, India, Japón, España, entre otros). En México ha sido registrado como planctónica y en diversas formas de vida bentónicas; los registros de ríos provienen de Morelos y Veracruz, mientras que los registros como epífita provienen de Veracruz y Puebla y ha sido registrada previamente en la Cantera Oriente.

Referencias de herbario. Arroyo: CM 167, 168 (octubre 2012), CM 190 (enero 2013), CM 201 (febrero 2013), CM 209 (marzo 2013), CM 227 (mayo 2013). Canal: CM 182 (noviembre 2012), CM 194 (enero 2013), CM 204 (febrero 2013), CM 213 (marzo 2013), CM 221 (abril 2013), CM 247 (julio 2013). Referencia de cultivo. Arroyo: CM 245 (julio 2013), CM 259 (septiembre 2013), CM 288 (mayo 2014). Canal: CM 230 (mayo 2013).

Phormidium aerugineo-caeruleum

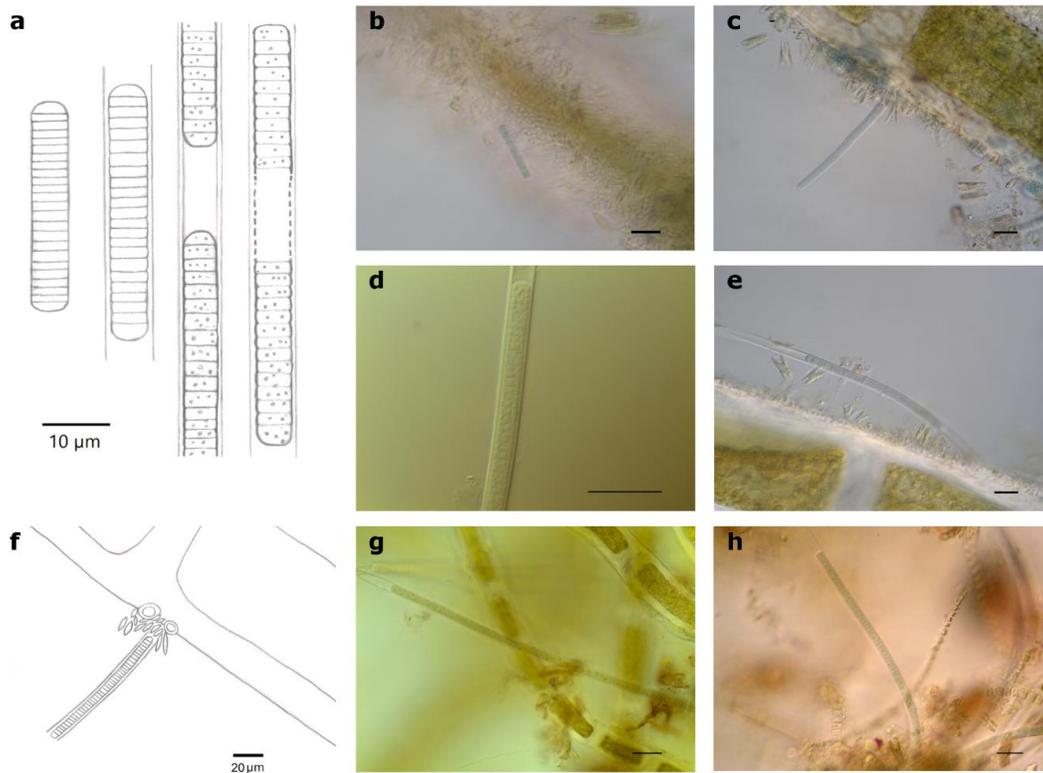


Figura 33. **a)** De izquierda a derecha: Hormogonio, hormogonio en vaina, tricomas dentro de una misma vaina (probablemente por formación de hormogonio) y filamento granulado; **b)** Hormogonio sobre el sustrato; **c, f)** Filamento creciendo sobre *Cladophora glomerata*; **d)** Detalle de un filamento, **e)** Tricoma dentro de una vaina alargada; **g, h)** Filamentos muy largos. **b-e y g-h:** Escala 20 μm , 40x, **d:** Escala 20 μm , 100x.



Figura 34. Cultivo de *Phormidium aerugineo-caeruleum* (cultivo de junio 2014), mostrando el talo (crecimiento macroscópico).

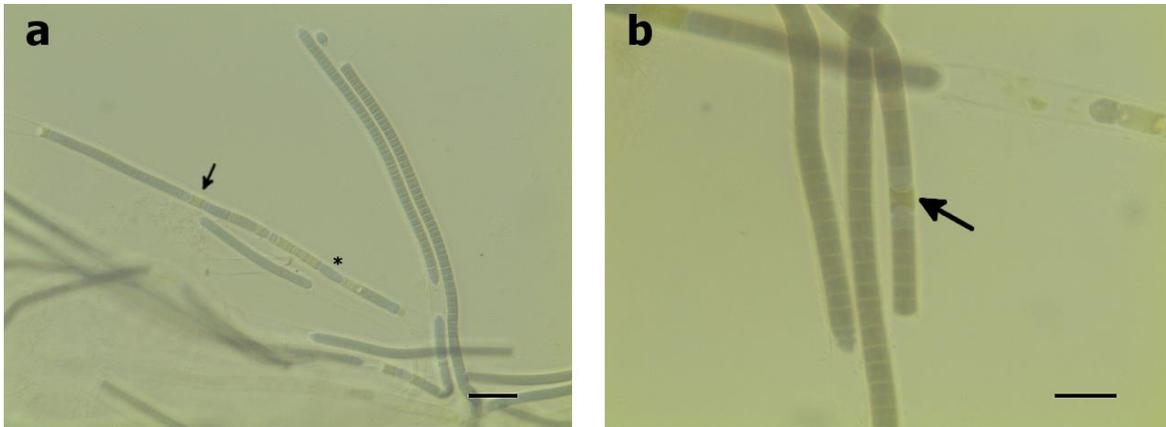


Figura 35. Cultivo de *Phormidium aerugineo-caeruleum* (cultivo de mayo 2014, Canal). **a)** Filamentos en formación de necridios (flecha) y hormogonios (*), escala 20 μm , 40x. **b)** Detalle de las células apicales y de la formación de necridios (flecha), escala 10 μm , 100x.

II. Cianoprocariontes asociadas al sustrato algal o vegetal

Los sustratos de las cianoprocariontes estudiadas fueron: 1) Clorofitas filamentosas (Cladophorales), representadas por *Rhizoclonium hieroglyphicum* y *Cladophora glomerata*; 2) Macrófitas (angiospermas acuáticas) representada por *Stuckenia pectinata* y 3) Madera y raíces de arbustos, representado por la especie *Buddleja cordata*, que fue considerada una macrófita ocasional. El Cuadro 4 muestra las especies encontradas en cada sustrato.

Sobre *Rhizoclonium hieroglyphicum* se encontraron 6 especies epífitas (pertenecientes a los órdenes Chroococcales, Oscillatoriales y Nostocales), sobre raíces de *Buddleja cordata* se encontraron 5 especies epífitas (de los órdenes Chroococcales y Oscillatoriales), sobre *Cladophora glomerata*, se encontraron 7 especies epífitas (de los órdenes Chroococcales y Oscillatoriales) y en los crecimientos pardos, sobre las hojas de *Stuckenia pectinata*, se encontraron 5 especies (de los órdenes Chroococcales y Oscillatoriales).

Asimismo, aunque *Rhizoclonium hieroglyphicum* y *Cladophora glomerata* podrían parecer un tipo de sustrato muy similar, no solo mostraron diferencias en su distribución entre el Arroyo y el Canal, sino también mostraron diferencias en cuanto a las cianoprocariontes que crecen sobre estos talos filamentosos: *R. hieroglyphicum* creció sólo en Arroyo, con una presencia discontinua e independientemente de la época del año y albergó de una a cuatro

especies de cianoprocariontes epifitas (Figura 36). *Cladophora glomerata* por el contrario solamente fue observada en el Canal e independientemente de la época del año albergó en promedio 4 especies, siendo el valor más alto de 7 especies (Figura 37).

Cuadro 4. Especies asociadas al sustrato vegetal por época

<i>Rhizoclonium</i>	<i>Cladophora</i>	<i>Stuckenia</i>	<i>Buddleja</i>
<i>X. bicudoii</i>	<i>Cy. pseudoxenococcoides</i>	<i>Ch. amethystinus</i>	<i>Pl. minor</i>
<i>Nostoc sp.</i>	<i>Ch. incrustans</i>	<i>X. bicudoii</i>	<i>X. bicudoii</i>
<i>Ph. aerugineo-caeruleum</i>	<i>X. bicudoii</i>	<i>L. epiphytica</i>	<i>L. epiphytica</i>
<i>Ps. catenata</i>	<i>X. lamellosus</i>	<i>Ph. aerugineo-caeruleum</i>	<i>C. gracilis</i>
<i>Ch. amethystinus</i>	<i>H. aquae-dulcis</i>	<i>Ps. catenata</i>	<i>Nostoc sp.</i>
<i>L. epiphytica</i>	<i>L. epiphytica</i>		
	<i>Ph. aerugineo-caeruleum</i>		
	<i>Ps. catenata</i>		
	<i>Ch. minutus</i>		

	Lluvias 2012		Lluvias 2012 y Secas 2013
	Secas 2013		Secas 2013 y Lluvias 2013
	Lluvias 2013		Lluvias 2012, 2013 y Secas 2013

III. Presencia de las especies por mes

Con los datos de la presencia por preparación, se realizaron gráficas para visualizar la distribución de las especies por mes. En el Arroyo, se encontraron 8 especies de cianoprocariontes, siendo los meses de octubre 2012, marzo y mayo 2013, en los que se observó la mayor cantidad de especies (4 spp.), mientras que en septiembre 2012, enero y abril 2013 se observó la menor cantidad de especies. También pudo notarse que la presencia por preparación y el número de especies fue mayor en la época seca (Figura 36).

En el Canal, se observó que, en la etapa intermedia de la época de lluvias, disminuyó considerablemente la presencia, manteniéndose estable a finales de la época de lluvias y durante la época seca. La época transitoria (final de secas e inicio de lluvias) fue el momento en el que aumentó el número de especies y la presencia por preparación (Fig. 37).

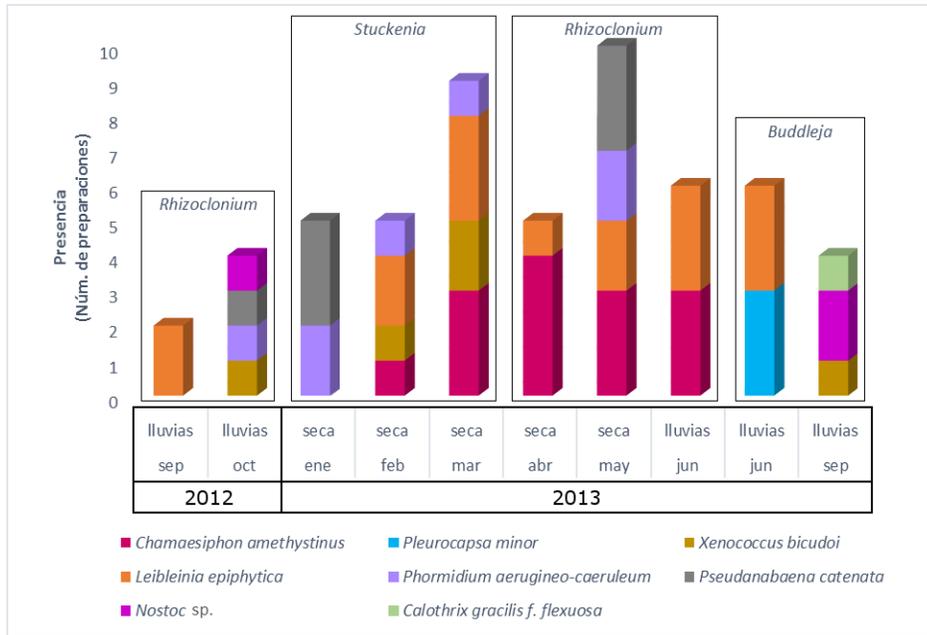


Figura 36. Frecuencia de las especies en las muestras del Arroyo, por época y sustrato en el que se recolectaron.

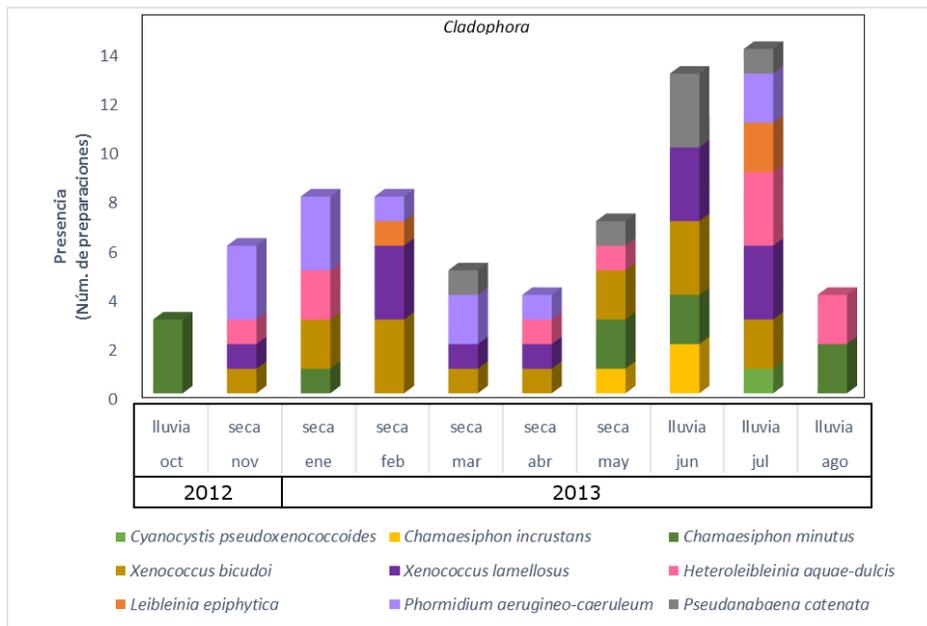


Figura 37. Frecuencia de las especies en las muestras del Canal, por época y sustrato en el que se recolectaron.

IV. Especies presentes en los dos ambientes

Hubo 4 especies compartidas en los dos sitios de estudio (Figuras 38 y 39), las cuales tienen la capacidad de crecer en diferente tipo de sustrato, tanto en época de lluvias como en secas, aunque encontrándose en un mayor número de muestras en ésta última. *Xenococcus bicudoii* fue mucho más frecuente sobre *C. glomerata*, que sobre *R. hieroglyphicum*, mientras que con *Leibleinia epiphytica* ocurrió lo contrario.

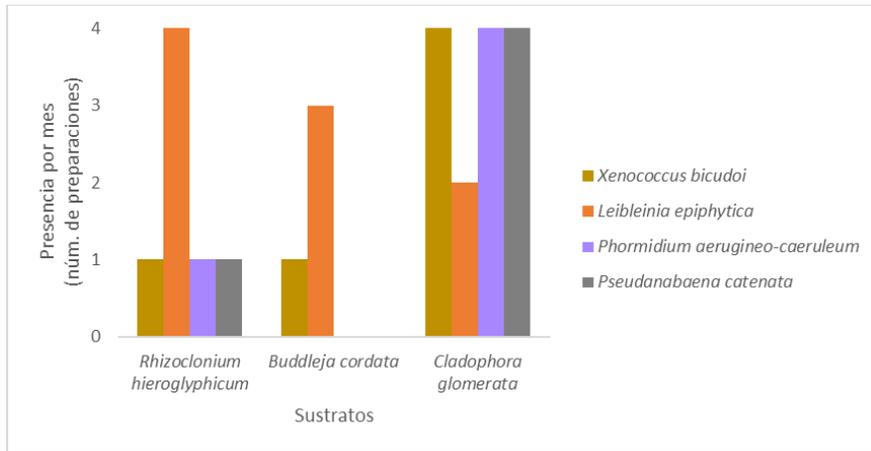


Figura 38. Especies compartidas entre los dos sitios de estudio, durante la época de lluvias.

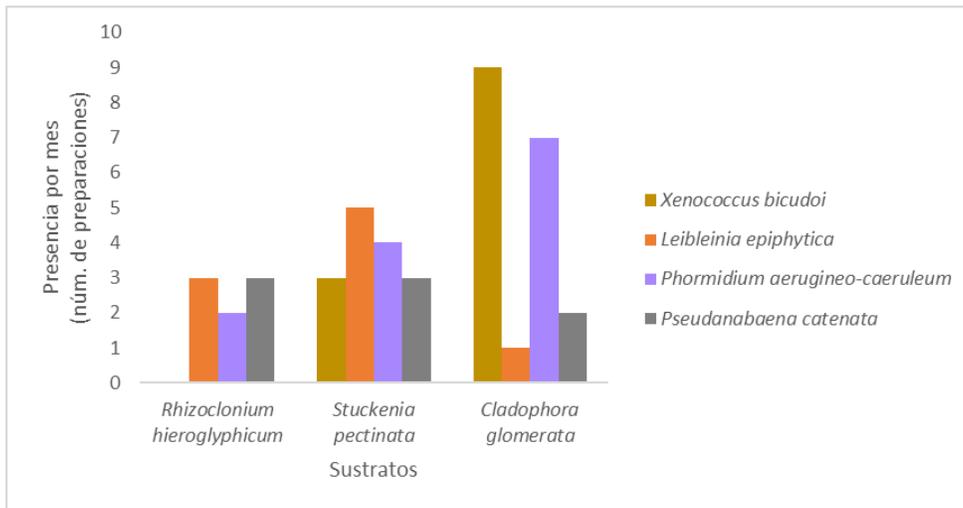


Figura 39. Especies compartidas entre los dos sitios de estudio, durante la época seca.

V. Índice de Valor de Importancia

Se realizó una matriz de datos calculando el IVI por mes (Anexo II) y por sitio (Cuadro 5), con estos datos se realizaron gráficas de pastel representando el IVI por especie (%) (Figuras 38 y 39).

Cuadro 5. IVI de especies por sitio.

ORDEN	ESPECIE	IVI POR SITIO	
		Arroyo Puente	Canal Concreto
Chroococcales	<i>Chamaesiphon amethystinus</i>	49.12	-
	<i>Chamaesiphon incrustans</i>	-	8.33
	<i>Chamaesiphon minutus</i>	-	27.78
	<i>Cyanocystis xenococcoides</i>	-	2.78
	<i>Pleurocapsa minor</i>	10.53	-
	<i>Xenococcus bicudoii</i>	17.54	41.67
	<i>Xenococcus lamellosus</i>	-	33.33
Oscillatoriales	<i>Heteroleibleinia aquae-dulcis</i>	-	27.78
	<i>Leibleinia epiphytica</i>	56.14	8.33
	<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	24.56	33.33
	<i>Pseudanabaena catenata</i>	24.56	16.67
Nostocales	<i>Calothrix gracilis f. flexuosa</i>	7.02	-
	<i>Nostoc sp.</i>	10.53	-

El IVI por sitio, representa el valor total de IVI durante todo el muestreo.

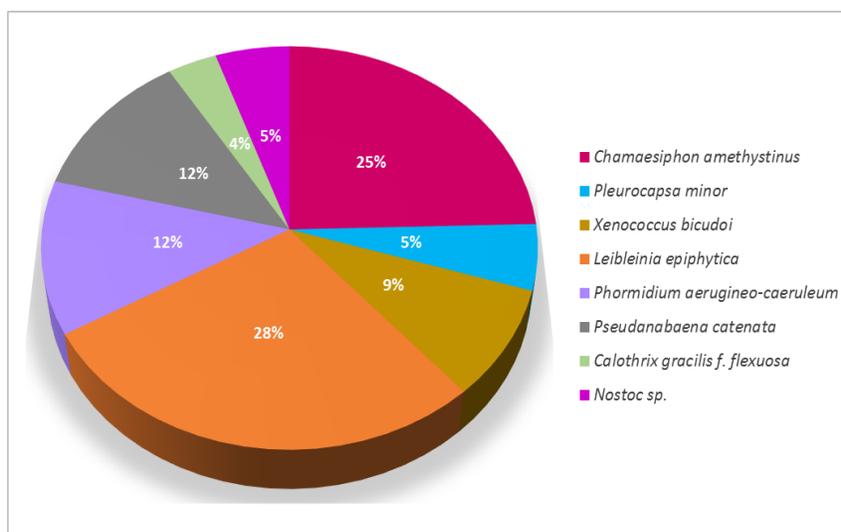


Figura 38. IVI por especie (%) en el Arroyo Puente. El valor más alto lo obtuvo *Leibleinia epiphytica* (IVI 28%), la cual estuvo presente durante 6 meses, en septiembre 2012 y de manera continua de febrero a junio 2013; la segunda especie fue *Chamaesiphon amethystinus* (IVI 25%), presente durante 5 meses y, en tercer lugar, se encontró *Phormidium aerugineo-caeruleum* presente también en 5 meses y *Pseudanabaena catenata*, presente en 3 meses (IVI 12%). Las especies restantes tuvieron un IVI menor al 10%: *Xenococcus bicudoii* (9%) presente en 4 meses; *Nostoc sp.* (presente en 2 meses) y *Pleurocapsa minor* (presente en un mes), ambos con IVI de 5%. Finalmente, la especie con el menor IVI fue *Calothrix gracilis f. flexuosa* (4%), observada únicamente en septiembre 2013.

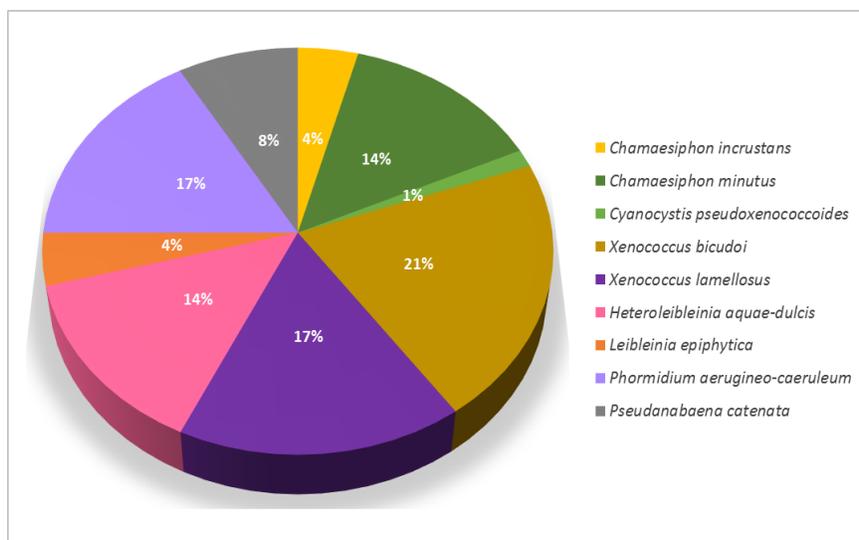


Figura 39. IVI por especie (%) en el Canal de Concreto. La especie con mayor IVI fue *Xenococcus bicudoii* (21%), presente en noviembre 2012 y de enero a julio 2013. Seguida de esta, 4 especies obtuvieron un IVI de entre 10-20%: *Xenococcus lamellosus* y *Phormidium aerugineo-caeruleum* con 17% y *Heteroleibleinia aquae-dulcis* y *Chamaesiphon minutus* con 14%. Las 3 primeras especies estuvieron presentes en 6 meses y la última en 5 meses. Las especies restantes obtuvieron un IVI menor al 10%: *Pseudanabaena catenata* con 8%, presente en 4 meses, *Leibleinia epiphytica* y *Chamaesiphon incrustans* con 4%, ambas presentes en 2 meses y *Cyanocystis pseudoxenococcoides* con 1% y presente únicamente en julio 2013.

En el Arroyo, durante la época de lluvias 2012, *Leibleinia epiphytica* obtuvo el valor de IVI más alto. En la época seca, se observó un incremento en el IVI general de las especies presentes (*Chamaesiphon amethystinus*, *Xenococcus bicudoii*, *Leibleinia epiphytica*, *Phormidium aerugineo-caeruleum* y *Pseudanabaena catenata*). Finalmente, en la época de lluvias 2013, el IVI de *Chamaesiphon amethystinus*, *Xenococcus bicudoii* y *Leibleinia epiphytica* disminuyó, excepto en *Nostoc* sp., que tuvo un aumento, por su parte *Pleurocapsa minor* y *Calothrix gracilis* f. *flexuosa*, sólo se presentaron en esta época (Cuadro 6).

En el Canal, *Chamaesiphon minutus* y *Phormidium aerugineo-caeruleum* tuvieron el valor de IVI más alto en la época de lluvias 2012. En la época seca, se observó un aumento en el IVI de *Xenococcus bicudoii*, *Xenococcus lamellosus*, *Heteroleibleinia aquae-dulcis* y *Phormidium aerugineo-caeruleum*, mientras que *Chamaesiphon minutus* mantuvo su IVI, además de encontrarse otras especies a las ya mencionadas: *Chamaesiphon incrustans*, *Leibleinia epiphytica* y *Pseudanabaena catenata*. Para la época de lluvias 2013, se observó un aumento del IVI en la mayoría de las

especies, excepto en *Xenococcus bicudoii* y *Phormidium aerugineo-caeruleum*, que disminuyeron. Además, se observó a *Cyanocystis pseudoxenococcoides* únicamente en esta época (Cuadro 7).

Cuadro 6. IVI (%) de las especies en el Arroyo, por época.

ESPECIE	IVI DEL ARROYO (%)		
	Lluvias 2012	Secas 2012-2013	Lluvias 2013
<i>Chamaesiphon amethystinus</i>	-	19.3	5.3
<i>Xenococcus bicudoii</i>	1.8	5.3	1.8
<i>Leibleinia epiphytica</i>	3.5	14.1	10.6
<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	1.8	10.5	-
<i>Pseudanabaena catenata</i>	1.8	10.5	-
<i>Nostoc</i> sp.	1.8	-	3.5
<i>Pleurocapsa minor</i>	-	-	5.3
<i>Calothrix gracilis</i> f. <i>flexuosa</i>	-	-	3.5

Cuadro 7. IVI (%) de las especies en el Canal, por época.

ESPECIE	IVI DEL CANAL (%)		
	Lluvias 2012	Secas 2012-2013	Lluvias 2013
<i>Chamaesiphon incrustans</i>	-	1.4	2.8
<i>Chamaesiphon minutus</i>	4.1	4.1	5.5
<i>Xenococcus bicudoii</i>	1.4	12.3	8.2
<i>Xenococcus lamellosus</i>	1.4	6.8	8.2
<i>Heteroleibleinia aquae-dulcis</i>	1.4	5.5	6.8
<i>Leibleinia epiphytica</i>	-	1.4	2.8
<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	4.1	9.6	2.8
<i>Pseudanabaena catenata</i>	-	2.8	5.5
<i>Cyanocystis pseudoxenococcoides</i>	-	-	1.4

VI. Variables ambientales

La caracterización físico-química permitió observar que ambos sitios fueron similares ambientalmente, lo cual puede observarse en los valores del coeficiente de variación (CV) de las variables, que mantienen una proporción similar y fue notable que la heterogeneidad de las mismas, coincide entre los dos ambientes. Respecto a la temperatura, se obtuvieron valores bajos (Arroyo: 13.6-17.3°C y Canal: 14.6-16.5°C), para el oxígeno disuelto, se encontraron tanto valores bajos como altos (Arroyo: 0.9-6.6 mg L-1 y Canal: 0.9-6.8 mg L-1); la conductividad específica fue alta (Arroyo: 367-433 µScm-1 y Canal: 366-421 µScm-1); el pH promedio fue ácido, aunque en una ocasión fue básico (Arroyo: 4.6-8.3 y Canal: 5.3-8.3) y las concentraciones de fósforo total (Ptot) (Arroyo: 0.01-2.53 mg L-1 y Canal: 0.01-1.66 mg

L-1) y nitrógeno inorgánico disuelto (NID) fueron altas (Arroyo: 7.95-10.11 mg L⁻¹ y Canal: 8.75-11.85 mg L⁻¹) (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 8. Factores físico-químicos medidos durante el estudio en el Arroyo Puente

Fecha	Temp. (°C)	pH	K25 (µScm ⁻¹)	Irradianza (µmol s ⁻¹ m ⁻²)	O ₂ (mg L ⁻¹)	Ptot (mg L ⁻¹)	NID (mg L ⁻¹)
04/09/2012	15.4	8.3	388	221.8	6.6	0.1	9.92
01/10/2012	15.3	7.1	380	1,080.2	4.5	0.16	9.33
05/11/2012	14.2	4.6	418	164.0	1.1	0.04	8.53
22/01/2013	13.6	5.9	402	1.8	1.2	0.18	8.04
20/02/2013	14.0	6.6	412	212.2	3.1	0.01	8.81
22/03/2013	17.3	7.8	367	1,466.0	2.3	0.13	9.02
22/04/2013	14.6	7.3	432	327.9	1.8	0.8	7.95
24/05/2013	14.6	7.2	433	86.8	0.9	1.82	10.11
24/06/2013	15.3	7.6	391	655.8	1.3	1.65	9.52
25/07/2013	15.3	6.7	395	1,041.6	-	2.53	8.83
27/08/2013	15.3	6.5	373	810.1	5.7	1.94	8.28
25/09/2013	15.1	6.5	392	462.9	4.5	1.33	8.63
Media arit.	15.0	6.8	398.6	544.3	3.0	0.91	0.70
Desv. estándar	0.94	0.95	21.52	480.20	2.02	0.89	8.91
CV (%)	6%	14%	5%	85%	66%	100%	7%

K25 = Conductividad, O₂ = Oxígeno disuelto, Ptot = Fósforo total, NID = Nitrógeno Inorgánico Disuelto

Cuadro 9. Factores físico-químicos medidos durante el estudio en el Canal de Concreto

Fecha	Temp. (°C)	pH	K25 (µScm ⁻¹)	Irradianza (µmol s ⁻¹ m ⁻²)	O ₂ (mg L ⁻¹)	Ptot (mg L ⁻¹)	NID (mg L ⁻¹)
04/09/2012	15.7	8.3	374	241.1	6.8	0.17	9.55
01/10/2012	15.8	7.2	396	694.4	6.4	0.01	10.54
05/11/2012	15.1	5.3	390	24.1	0.9	0.21	12.32
22/01/2013	14.6	5.5	421	2.7	3.0	0.15	10.64
20/02/2013	15.3	6.6	383	144.7	3.0	0.01	11.34
22/03/2013	16.5	7.5	380	260.4	1.5	0.08	11.85
22/04/2013	15.6	7.3	386	2,006.1	2.1	0.87	10.35
24/05/2013	15.4	7.4	373	106.1	1.2	1.23	8.75
24/06/2013	15.4	7.5	376	120.6	1.2	1.18	10.71
25/07/2013	15.4	6.4	382	366.5	3.5	1.66	10.62
27/08/2013	15.4	6.7	389	1,041.6	5.8	1.63	11.88
25/09/2013	15.4	6.9	366	462.9	4.6	1.35	10.44
Media arit.	15.5	6.9	384.7	455.9	3.3	0.5	10.6
Desv. estándar	0.45	0.85	14.15	573.57	2.22	0.67	1.00
CV (%)	3%	12%	4%	> 100%	67%	94%	1%

VII. Análisis estadístico

Con las variables ambientales y el IVI, se realizó una Prueba U de Mann-Whitney, para indagar si las poblaciones eran similares, a lo que no se encontraron diferencias significativas en las variables de estos sitios ($p < 0.05$), excepto para el nitrógeno ($p=0.000$) (Cuadro 10), por lo que se concluye que los sitios son ambientalmente similares.

Cuadro 10. Prueba U de Mann-Whitney con las variables ambientales e IVI.

Variable\Prueba	Mann-Whitney
IVI	0.977
Temp (Celsius)	0.795
pH (unidades)	0.840
Conduct ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	0.088
O ₂ mg L ⁻¹	0.750
Ptot mg L ⁻¹	0.707
NID mg L⁻¹	0.000

Los valores indican el nivel de significancia p en cada variable

Chi cuadrada

Debido a la aparente similitud ambiental, se realizó una prueba de Chi cuadrada mediante tablas de contingencia, que permitió evaluar el grado de asociación entre las variables de interés: los sitios, el tipo de sustrato (algal o vegetal) y la época del año, con el IVI de las especies. Al agrupar a los sustratos algales y vegetales en la tabla de contingencia, se observaron marcadas diferencias en el crecimiento de las cianoprocariontes por tipo de ambiente y sustrato algal o vegetal ($p < 0.0001$) (Cuadro 11, fig. 40), lo cual también fue observado en las frecuencias teóricas de la prueba (con valores siempre superiores a 5.0, Cuadro 12), lo cual apoya la diferencia entre sitios, tipo de ambiente y sustrato algal/vegetal.

Cuadro 11. Tabla de contingencia para Chi cuadrada.

	<i>Stuckenia</i>	<i>Rhizoclonium</i>	<i>Buddleja</i>	<i>Cladophora</i>
arroyo, época seca	66.67	52.63	0	0
arroyo, época lluvia	0	42.11	38.6	0
canal, época seca	0	0	0	88.89
canal, época lluvia	0	0	0	111.11

Cada especie de macrófita o alga, sintetizó el IVI de las especies para cada época y sitio.

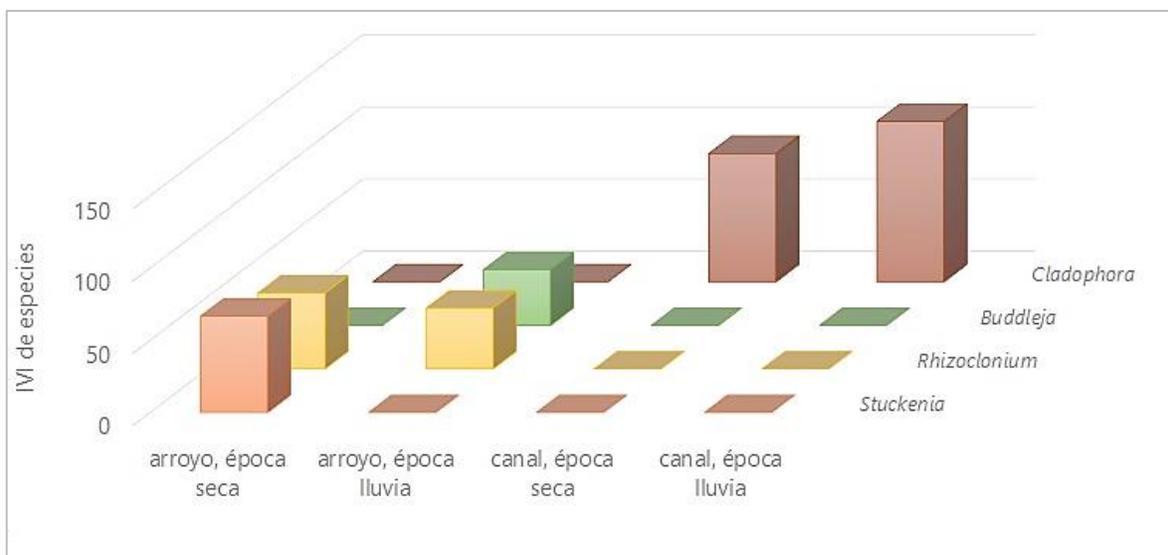


Figura 40. Expresión gráfica de la tabla de contingencia que muestra la diferencia absoluta entre filas y columnas. La proporción de valores en cada columna sugirió asociación (dependencia) entre las variables cualitativas seleccionadas.

Cuadro 12. Frecuencias teóricas de la prueba.

Frecuencias teóricas	<i>Stuckenia</i>	<i>Rhizoclonium</i>	<i>Buddleja</i>	<i>Cladophora</i>	Total
arroyo época seca	19.884	28.255	11.512	59.649	119.300
arroyo época lluvia	13.452	19.116	7.788	40.354	80.710
canal época seca	14.815	21.053	8.578	44.444	88.890
canal época lluvia	18.519	26.316	10.722	55.554	111.110
Total	66.67	94.74	38.6	200	400.01

Correlación de Pearson y Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Con el IVI y las variables ambientales de ambos sitios, se realizó una correlación de Pearson, de la cual, las únicas variables significativas fueron la saturación, que se correlacionó negativamente (-0.522) y el fósforo total, que se correlacionó positivamente (0.535), ($p=0.022$ y 0.018 , respectivamente).

Para visualizar estas posibles correlaciones, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), el cual consideró el 66.4% de la varianza total (36.3% para el primer eje y 30.06% para el segundo eje). Además, las variables con una correlación más alta fueron, para el eje 1, el NID que se correlacionó negativamente (-0.556) y para el eje 2, la saturación que

se correlacionó positivamente (0.545). Al analizar estas variables, se observó un gradiente únicamente para la saturación (mayor a menor) en el mapa simétrico (fig. 40).

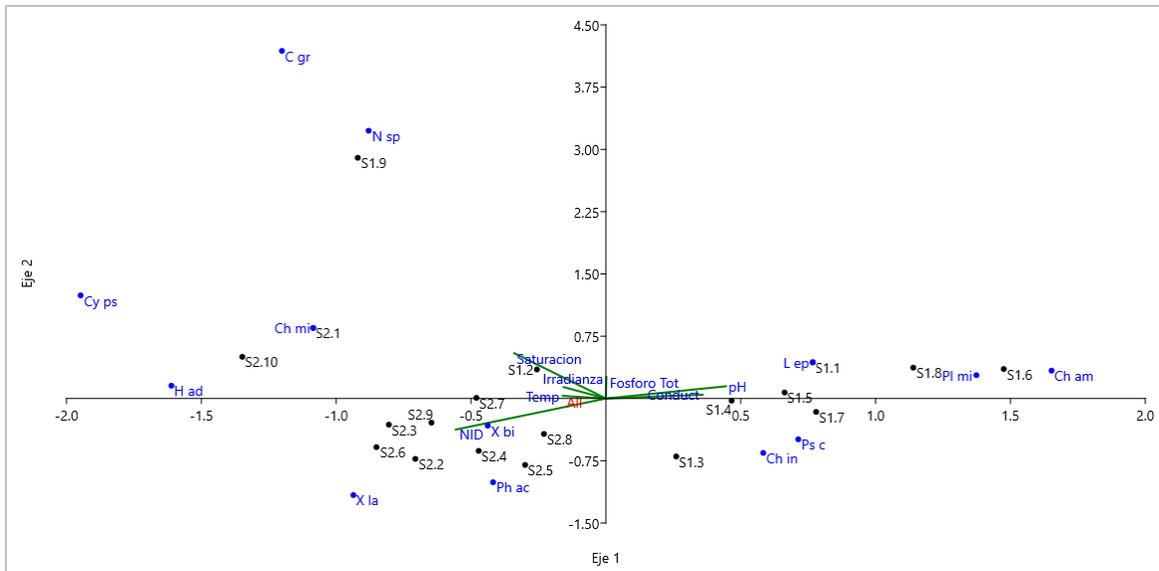


Figura 40. Mapa simétrico del ACC de ambos sitios.

Las especies de los cuadrantes 1-3, se encuentran presentes en saturación baja y las especies del cuadrante 4, tienen una preferencia por la saturación alta.

DISCUSIÓN

Sobre las formas de vida identificadas

De acuerdo con Fattom & Shilo (1984), todas las especies de cianoprocariontes bentónicas (tanto en ambientes de agua dulce, salobres y marinos) presentan el fenómeno de hidrofobicidad en la envoltura celular, propiciado por la presencia de cationes divalentes como magnesio y calcio, los cuales disminuyen las fuerzas de repulsión entre células y sustrato natural, lo cual les permite adherirse sobre algún sustrato algal o vegetal.

A pesar de ello, en algunas muestras, se observaron ejemplares de *Phormidium aerugineo-caeruleum* y de *Nostoc* sp., independientes del sustrato (en una proporción de 44.4 y 33.3%, respectivamente), lo cual en ocasiones hace difícil la asignación de una u otra forma de vida.

Tomando en cuenta lo anterior, se consideró que todas las especies descritas en este trabajo, forman parte del perifiton, siendo predominante la forma de vida epífita, encontrando

algunas especies en formas de vida epixílica o como especies asociadas, que fue el caso de la biota de *Stuckenia pectinata*, en la que las cianoprocariontes se encontraban en conjunto con diatomeas y clorofitas.

La razón por la que, en ocasiones las células de estas especies no se encontraron adheridas al sustrato algal o vegetal, puede deberse a una diferencia fenotípica en la hidrofobicidad de los cianoprocariontes bentónicos. Lo anterior, de acuerdo con Fattom & Shilo (1984), se ha comprobado en especies filamentosas en cultivo, que varía en función de la edad y de la etapa del ciclo de vida en la que se encuentre la especie, por ejemplo, durante la formación de hormogonios y durante su crecimiento a filamentos maduros. Además, tanto la rugosidad (en sustratos inorgánicos), como las ramificaciones y talla del sustrato (en macrófitas y algas), pueden influir en la adhesión y por tanto en la diversidad asociada al sustrato vegetal (Schneck *et al.*, 2011; Caro-Borrero & Carmona-Jiménez, 2016).

Relación entre las especies y el ambiente

- IVI de las especies y su relación con el tipo de sustrato algal o vegetal

De acuerdo con Azim (2009) y Zulfikly *et al.* (2013), las comunidades perifíticas asociadas a macrófitas y algas (especies epífitas), poseen especificidad de sustrato, incluso en diferentes hábitats. Uno de los estudios que se han enfocado en este fenómeno fue el de Crump & Koch (2008), los cuales, para comprobar que cada especie de planta o alga de ambientes lóticos genera un microhábitat distinto, analizaron crecimientos epífitos de hojas y raíces, de 4 especies de plantas acuáticas distintas (una de ambientes dulceacuícolas, dos de aguas salobres y una marina).

Con sus observaciones, estos autores comprobaron que la microbiota asociada a cada macrófita o alga, es similar en la misma especie (es decir, los crecimientos sobre hojas y sobre raíces de una misma especie, son similares en composición de especies) y distinta entre diferentes especies, aunque hacen énfasis en que las macrófitas o algas que se encuentran en un hábitat similar, tendrán microbiota similar debido a que poseen características que les permiten permanecer en ese sitio y están bajo las mismas presiones ambientales (temperatura, luz, velocidad de corriente, etc.).

En el Arroyo, las Oscillatoriales fueron el grupo dominante en ambas épocas, teniendo un contraste muy marcado en cuanto a IVI respecto a las Chroococcales y Nostocales. Es importante destacar el hecho de que las especies que obtuvieron los valores de IVI más altos del Arroyo, son aquellas que estuvieron presentes sobre 2 especies: *R. hieroglyphicum* y *S. pectinata*, las cuales, al tener cierta similitud en cuanto a la función ecológica que desempeñan dentro del ambiente y debido a características intrínsecas compartidas (pared de celulosa y bentónicas), permitieron el establecimiento de las especies cianoprocariontes, lo que a su vez logra un mantenimiento de la diversidad de biota epífita en el sitio. Esta capacidad por parte de las cianoprocariontes, indica que estas especies poseen amplitud de sustrato (vegetal y algal).

En el Canal, no se observó una predominancia por Orden, sino más bien por especie. En este sitio, *Xenococcus bicudo* obtuvo el IVI más alto de este sitio. El IVI de las demás especies, permitió separarlas en 2 grupos: el de las especies frecuentes y el de las especies raras. Lo anterior podría estar relacionado con las características de *Cladophora glomerata*, que lo hacen un sustrato muy estable, por lo que las especies más adaptadas a este sustrato, podrían estarse desarrollando con mayor éxito durante periodos de tiempo prolongados.

Debido a que *Stuckenia pectinata* y las clorofitas filamentosas descritas, son especies que pueden encontrarse en ambientes lóticos (Valadez *et al.*, 1996; Valadez, 1998; Hernández Martínez *et al.*, 2007; Novelo *et al.*, 2007; Rodríguez Flores, 2014), se esperaría que en el Arroyo las tres especies tuvieran una presencia similar de microbiota cianoprocarionte, mientras que *Buddleja cordata* (que es representativa del matorral) se consideraría una macrófita ocasional. Por lo tanto, se esperaba encontrar diferencias en la composición de las especies del Arroyo y del Canal de Concreto, debido a que este último es un sitio con una modificación aparentemente mayor que la del Arroyo.

En general, se observó que la microbiota cianoprocarionte del Arroyo fue más diversa, pues estuvo representada por especies de 3 órdenes, lo cual pensamos que está relacionado con la diversidad de macrófitas y algas presentes en este sitio. Además, se observó que *R. hieroglyphicum* y *S. pectinata* compartieron microbiota, la cual se desarrolló sobre el talo en el

primer sustrato y en el segundo, sobre las hojas, observando diferencias respecto a la microbiota que se desarrolló sobre las raíces de *B. cordata*.

Esto último apoya las observaciones de Crump & Koch (2008), acerca de que las comunidades de microbiota de hojas y raíces tienen un bajo nivel de similitud entre diferentes especies de plantas, pero es similar entre macrófitas del mismo sitio, encontrando una mayor similitud de microbiota entre el alga filamentosa y la macrófita.

Por el contrario, y respecto a las clorofitas filamentosas, se hubiera esperado observar biota epífita similar, pero de acuerdo a las observaciones, las diferencias en la densidad y frecuencia de las especies entre ambos sustratos, podrían estar dados por las diferencias en la biología de las clorofitas: *R. hieroglyphicum* es una especie de filamentos muy delgados (Novelo, 2012), mientras que *C. glomerata*, es una especie de mayor tamaño y con una pared celular resistente a la tensión (Zulkifly *et al.*, 2013).

- IVI de las especies y su relación con el sitio

La prueba de Chi cuadrada mediante tablas de contingencia, demostró que la densidad poblacional y la frecuencia de las especies (expresado como IVI), presenta diferencias por sitio (sustrato natural o artificial) para la mayoría de las especies descritas, dado en parte por el sustrato algal o vegetal al cual se encuentran asociadas. Cabe mencionar que, aunque se encontraron especies compartidas, únicamente 2 fueron la excepción a esta regla: *L. epiphytica* y *X. bicudoii* parecen no estar condicionadas tan directamente con el sitio, pero sí en cierta medida con la preferencia por una u otra especie de clorofita filamentosa.

Al observar los factores que pueden limitar la presencia, se detectó que las especies con un IVI más bajo, se podían separar en categorías de restricción (amplia, media y baja). Para el Arroyo, la restricción amplia se observó en *C. gracilis* f. *flexuosa*, al estar limitada por el tipo de sustrato algal o vegetal, época y sitio; la restricción media se observó en *Nostoc* sp., limitada por la época del año y sitio y finalmente, la restricción baja se observó en *C. amethystinus*, que se vio limitada por el tipo de sustrato algal o vegetal.

Para las especies del Canal con IVI más bajo, todas presentaron restricción baja: para *L. epiphytica* la limitación fue por tipo de sustrato algal o vegetal, aunque con el matiz mencionado arriba, de que presenta preferencia por las especies del Arroyo, mientras que para *C. pseudoxenococcoides* y *C. incrustans* la limitación fue por época. Cabe resaltar que ambas especies han sido descritas como epilíticas en latitudes tropicales y en este sitio no se observaron sobre concreto, lo cual podría estar relacionado con las paredes verticales del Canal, que algunos autores han descrito como un factor que afecta de forma general a las cianoprocariontes perifíticas (Michael *et al.*, 2008), quedando por otra parte la respuesta hidrofóbica particular del mucílago hacia *C. glomerata* de ambas especies (Fattom & Shilo 1984; Michael *et al.* 2008), lo cual parece permitir su desarrollo sobre *Cladophora glomerata*, pero de forma limitada.

- IVI de las especies y su relación con las variables ambientales.

En los ambientes lóticos de bajo flujo y en los que existe acumulación de materia orgánica, la concentración de oxígeno disuelto es baja debido al aumento en la actividad microbiana, pero a su vez, la actividad fotosintética de algas y macrófitas, puede incrementar su concentración diurna. Por otra parte, la saturación de oxígeno disuelto (en porcentaje), se ha utilizado como una medida que compara la presión atmosférica e hidrostática, en relación a la profundidad a la que se encuentra el sustrato (Wetzel, 2001).

En este trabajo, la saturación de oxígeno disuelto fue la única variable que parece afectar la presencia de las especies descritas en ambos ambientes, al encontrar que *Chamaesiphon minutus*, *Heteroleibleinia aquae-dulcis*, *Calothrix gracilis* y *Nostoc* sp., fueron las únicas especies que aumentaron su IVI en saturación alta (de 59-70% en el Canal, para las 2 primeras especies y de 46% en el Arroyo, para las dos últimas especies), mientras que las mayoría de las especies restantes estuvieron presentes en saturación media (menor a 32%, excepto *Xenococcus bicudo* y *Pseudanabaena catenata*, que toleraron saturación de 46% en el Arroyo, pero con un IVI bajo) y varias de ellas, aumentaron su IVI en saturación baja (9-13%).

Una de las razones por las que se encontró este patrón, puede estar relacionado con las constantes variaciones en el nivel del agua de la Cantera (Anexo 5). La profundidad, además

de tener relación con la saturación de oxígeno disuelto, también tiene una relación directa con la velocidad de corriente (Wetzel, 2001). Es por ello que, podemos afirmar que la saturación de oxígeno y los cambios de profundidad, nos dan un indicio de las posibles fluctuaciones en la velocidad de corriente, la cual parece afectar la presencia de las cianoprocariontes epífitas y epixílicas estudiadas. Además, la velocidad de corriente (junto con el intercambio de nutrientes y la intensidad luminosa), se considera uno de los factores que determinan la presencia de algas en ambientes lóticos (Valadez, 1998).

Por otra parte, aunque los nutrientes también pueden determinar la presencia de las algas y a pesar de que el NID pareció agrupar a las especies de mayor a menor concentración en el mapa simétrico, los rangos de presencia varían entre las especies compartidas, ya que existe una mayor concentración de NID en el Canal que en el Arroyo. Después de una revisión de los rangos de los nutrientes para cada especie por sitio, tanto el NID (en el caso del Canal) como el fósforo total (en el caso del Arroyo), parecen tener un efecto en la disminución del valor de importancia localmente, pero sólo para algunas especies, ya que no se encontró un patrón definido por sitio.

CONSIDERACIONES FINALES

Este trabajo es la primera aproximación que describe a detalle a los organismos cianoprocariontes epífitos y epixílicos de ambientes lóticos en la Cantera, por lo que, tanto la descripción taxonómica, como la caracterización de cada sitio mediante la composición florística fue muy importante para observar un panorama general de este tipo de biota.

El índice de valor de importancia (IVI), permitió tener una aproximación adecuada de las especies encontradas en los ambientes continentales de la Cantera Oriente, aunque para que sea un índice más preciso, podría delimitarse un área específica en campo y también sería importante medir el área del sustrato algal o vegetal y el área ocupada por los crecimientos.

De las especies reportadas, *Chamaesiphon incrustans* y *Phormidium aerugineo-caeruleum* ya habían sido registradas en la Cantera; 7 de las especies que no se habían registrado en la Cantera, ya han sido registradas previamente en México: *Chamaesiphon amethystinus*, *C.*

minutus, *Xenococcus bicudo*, *X. lamellosus*, *Pleurocapsa minor*, *Pseudanabaena catenata* y *Leibleinia epiphytica*.

En este panorama, resalta el registro de 3 especies nuevas para el país: *Cyanocystis pseudoxenococcoides* descrita de las Islas Guadalupe, *Calothrix gracilis* f. *flexuosa* descrita de África y *Heteroleibleinia aquae-dulcis* registrada en China. Finalmente, *Nostoc* sp. no presentó acinetos *in situ*, ni los desarrolló en cultivo y por la particularidad del sustrato en el que fue encontrado (raíces de tepozán), en el que no ha sido registrado previamente, no se asignó ningún nombre específico, pero como se mencionó anteriormente, *Nostoc microscopicum* está registrado en el litoral de los lagos de la Cantera Oriente (Novelo *et al.* 2009), así que podría tratarse de la misma especie presente en el Arroyo, con una forma de vida no descrita en la literatura.

CONCLUSIONES

Los cultivos fueron una herramienta útil en la descripción e identificación de diversas especies, siendo un factor clave en la diferenciación de *Xenococcus bicudo* y *Xenococcus lamellosus* debido a que permitió observar y comparar diversas etapas celulares del ciclo de vida de ambas especies. Las etapas celulares observadas en cultivo, permitieron diferenciar muchas de las células observadas en material de campo, por lo que se logró aportar mayor información taxonómica de estas especies.

La diferencia en la composición de especies de cada sitio, se debe a las diferentes especies de macrófitas y algas filamentosas presentes y al tipo de ambiente (natural o artificial). Este gradiente de restricción ambiental, fue reflejado por el valor de importancia, que presentó un incremento inversamente proporcional al nivel de restricción, lo que sugiere que la densidad poblacional y la frecuencia de cada especie, pueden ser un reflejo de las condiciones puntuales adecuadas para su fijación.

En cuanto a las variables ambientales, la mayor parte de ellas se mantuvo constante, al tener una concentración constante de nutrientes y sin limitación por la luz, lo cual se ajusta parcialmente a la estipulación de Biggs (1996) (Anexo 4), ya que debido a las fluctuaciones

en el nivel del agua (reflejado en la saturación de oxígeno), podemos proponer que los ambientes lóticos de la Cantera Oriente tienen un nivel de disturbio medio, que de manera general, permite el mantenimiento de perifiton (principalmente epífito) a largo plazo.

Por tanto, la presencia de una comunidad epífita diversa, cumple la función descrita en la literatura acerca de la variedad de nichos que generan las macrófitas y las clorofitas filamentosas (o especies estructurales). Esto significa que las características de estos sitios en la Cantera, permiten el establecimiento y desarrollo de comunidades epífitas y epixílicas de un tipo de ambiente lótico con un nivel de disturbio medio.

ANEXOS

Anexo 1. Antecedentes de estudios con registro de cianoprocariontes perifíticos (epífitos o asociados a macrófitas).

Autor(es)	Localidad	Registros de especies cianoprocariontes (epífitas)
Montejano <i>et al.</i> , 1993 Gold-Morgan <i>et al.</i> , 1994 Gold-Morgan <i>et al.</i> , 1996	Región Central de México (San Luis Potosí, Michoacán, Morelos y Edo. de México)	<i>Chamaesiphon amethystinus</i> , <i>Chamaesiphon amethystinus</i> var. <i>africanus</i> , <i>Chamaesiphon confervicolus</i> , <i>Chamaesiphon incrustans</i> , <i>Chamaesiphon minutus</i> , <i>Chamaesiphon</i> cf. <i>fallax</i> , <i>Chamaecalyx swirenkoi</i> , <i>Chamaecalyx calyculatus</i> , <i>Cyanocystis mexicana</i> , <i>Geitleribactron crassum</i> , <i>Xenococcus</i> <i>willei</i> , <i>Xenococcus bicudoii</i> , <i>Xenococcus lamellosus</i> , <i>Xenotholos amplus</i> , <i>Xenotholos</i> <i>caeruleus</i> , <i>Xenotholos huastecanus</i> , <i>Xenotholos</i> cf. <i>kernerii</i>
Valadez <i>et al.</i> , 1996	Ambientes lóticos de Morelos	<i>Aphanotece microscopica</i> , <i>Chamaecalyx swirenkoi</i> , <i>Chamaesiphon confervicola</i> , <i>Stichosiphon sansibaricus</i> , <i>Xenococcus bicudoii</i> , <i>Xenococcus lamellosus</i> , <i>Calothrix</i> <i>braunii</i> , <i>Calothrix fusca</i> , <i>Heteroleibleinia kuetzingii</i>
Cantoral <i>et al.</i> , 1999	Río La Magdalena, CDMX	<i>Chamaesiphon</i> cf. <i>confervicolus</i> y <i>Mantellum</i> cf. <i>adhaerens</i>
Ramírez-Vázquez <i>et al.</i> , 2001	Río La Magdalena, CDMX	<i>Chamaesiphon</i> cf. <i>confervicolus</i> , <i>Mantellum</i> sp., <i>Myxosarcina</i> sp., <i>Xenococcus</i> cf. <i>willei</i>
Bojorge-García, 2002	Río La Magdalena, CDMX	<i>Calothrix</i> sp., <i>Chamaesiphon incrustans</i> , <i>Hydrococcus rivularis</i> , <i>Leptolyngbya frigida</i> , <i>Phormidium</i> sp., <i>Placoma regulare</i> , <i>Stichosiphon</i> sp., <i>Synechococcus</i> cf. <i>epigloeicus</i> , <i>Xenococcus</i> sp.
Bojorge-García, 2013	Valle de Bravo, Edo. de México.	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Phormidium interruptum</i> , <i>Nostoc parmelioides</i> (todas asociadas, no epífitas)
Rodríguez Flores, 2014	Cuenca de México	<i>Calothrix</i> sp., <i>Leptolyngbya</i> sp., <i>Chamaesiphon</i> cf. <i>incrustans</i>

Anexo 2

IVI por época

Matriz de datos para el cálculo de IVI del Arroyo Puente

Época	Especie	Presencia	Área ocupada	Área total	Densidad sp.	Densidad	Frecuencia	Frecuencia	IVI
			sp. Pres. x 400 mm	muestreada 400 mm x 30	Pres. ÷ Área total	relativa D. sp. ÷ ∑ D. spp. x 100	sp. Área sp. ÷ Área total	relativa Frec. sp. ÷ ∑ Frec. spp. x 100	
LLUVIAS sep-nov 2012	<i>Xenococcus bicudo</i>	1	400	11600	8.62069E-05	1.75	0.034482759	1.75	3.5
	<i>Leibleinia epiphytica</i>	2	800	11600	0.000172414	3.51	0.068965517	3.51	7.02
	<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	1	400	11600	8.62069E-05	1.75	0.034482759	1.75	3.51
	<i>Pseudanabaena catenata</i>	1	400	11600	8.62069E-05	1.75	0.034482759	1.75	3.51
	<i>Nostoc</i> sp.	1	400	11600	8.62069E-05	1.75	0.034482759	1.75	3.5
SECA ene-may 2013	<i>Chamaesiphon amethystinus</i>	11	4400	11600	0.000948276	19.30	0.379310345	19.30	38.6
	<i>Xenococcus bicudo</i>	3	1200	11600	0.000258621	5.26	0.103448276	5.26	10.53
	<i>Leibleinia epiphytica</i>	8	3200	11600	0.000689655	14.04	0.275862069	14.04	28.07
	<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	6	2400	11600	0.000517241	10.53	0.206896552	10.53	21.05
LLUVIAS jun-ago 2013	<i>Pseudanabaena catenata</i>	6	2400	11600	0.000517241	10.53	0.206896552	10.53	21.05
	<i>Chamaesiphon amethystinus</i>	3	1200	11600	0.000258621	5.26	0.103448276	5.26	10.53
	<i>Pleurocapsa minor</i>	3	1200	11600	0.000258621	5.26	0.103448276	5.26	10.53
	<i>Xenococcus bicudo</i>	1	400	11600	8.62069E-05	1.75	0.034482759	1.75	3.5
	<i>Leibleinia epiphytica</i>	6	2400	11600	0.000517241	10.53	0.206896552	10.53	21.05
	<i>Calothrix gracilis</i> f. <i>flexuosa</i>	2	800	11600	0.000172414	3.51	0.068965517	3.51	7.02
	<i>Nostoc</i> sp.	2	800	11600	0.000172414	3.51	0.068965517	3.51	7.02
TOTAL		-	-	-	0.004913793	-	1.965517241	-	-

Para ambas matrices:

Presencia = Número de preparaciones en las que se observó la especie

Área ocupada por la especie = Área de un cubreobjetos

Área total muestreada = número de preparaciones en las que se registraron los talos de cada especie.

IVI = Densidad relativa + Frecuencia relativa

Densidad total = Suma de densidades de todas las especies

Frecuencia total = Suma de frecuencias de todas las especies

Matriz de datos para el cálculo de IVI del Canal de Concreto

Época	Especie	Presencia	Área ocupada	Área total	Densidad sp.	Densidad	Frecuencia	Frecuencia	IVI
			sp. Pres. x 400 mm	muestreada 400 mm x 30	Pres. ÷ Área total	relativa D. sp. ÷ ∑ D. sp x 100	sp. Área sp. ÷ Área total	relativa Frec. sp. ÷ ∑ Frec. sp. x 100	
LLUVIAS sep-nov 2012	<i>Chamaesiphon minutus</i>	3	1200	12000	0.00025	4.17	0.1	4.17	8.33
	<i>Xenococcus bicudoï</i>	1	400	12000	8.33333E-05	1.39	0.033333333	1.39	2.78
	<i>Xenococcus lamellosus</i>	1	400	12000	8.33333E-05	1.39	0.033333333	1.39	2.78
	<i>Heteroleibleinia aquae-dulcis</i>	1	400	12000	8.33333E-05	1.39	0.033333333	1.39	2.78
	<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	3	1200	12000	0.00025	4.17	0.1	4.17	8.33
SECA ene-may 2013	<i>Chamaesiphon incrustans</i>	1	400	12000	8.33333E-05	1.39	0.033333333	1.39	2.78
	<i>Chamaesiphon minutus</i>	3	1200	12000	0.00025	4.17	0.1	4.17	8.33
	<i>Xenococcus bicudoï</i>	9	3600	12000	0.00075	12.5	0.3	12.50	25.0
	<i>Xenococcus lamellosus</i>	5	2000	12000	0.000416667	6.94	0.166666667	6.94	13.89
	<i>Heteroleibleinia aquae-dulcis</i>	4	1600	12000	0.000333333	5.56	0.133333333	5.56	11.11
	<i>Leibleinia epiphytica</i>	1	400	12000	8.33333E-05	1.39	0.033333333	1.39	2.78
	<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	7	2800	12000	0.000583333	9.72	0.233333333	9.72	19.44
<i>Pseudanabaena catenata</i>	2	800	12000	0.000166667	2.78	0.066666667	2.78	5.56	
LLUVIAS jun-ago 2013	<i>Cyanocystis pseudoxenococcoides</i>	1	400	12000	8.33333E-05	1.39	0.033333333	1.39	2.78
	<i>Chamaesiphon incrustans</i>	2	800	12000	0.000166667	2.78	0.066666667	2.78	5.56
	<i>Chamaesiphon minutus</i>	4	1600	12000	0.000333333	5.56	0.133333333	5.56	11.11
	<i>Xenococcus bicudoï</i>	5	2000	12000	0.000416667	6.94	0.166666667	6.94	13.89
	<i>Xenococcus lamellosus</i>	6	2800	12000	0.000583333	9.72	0.233333333	9.72	16.67
	<i>Heteroleibleinia aquae-dulcis</i>	5	2000	12000	0.000416667	6.94	0.166666667	6.94	13.89
	<i>Leibleinia epiphytica</i>	2	800	12000	0.000166667	2.78	0.066666667	2.78	5.56
	<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i>	2	800	12000	0.000166667	2.78	0.066666667	2.78	5.56
<i>Pseudanabaena catenata</i>	4	1600	12000	0.000333333	5.56	0.133333333	5.56	11.11	
TOTAL		-	-	-	0.006	-	2.4	-	-

Anexo 3. Características de los crecimientos y tipos de células del género *Xenococcus* observados por muestra.

Características de los crecimientos de *Xenococcus* spp.

Localidad	Nº	Mes/Año	Características de los crecimientos
CM	182	NOV12	En general hay crecimientos densos en áreas pequeñas del filamento.
CM	194	ENE13	Crecimientos regulares a lo largo del filamento
CM	204	FEB13	Crecimientos densos de <i>X. bicudoii</i> tipo III. Acumulación de células vegetativas de <i>X. lamellosus</i> .
CM	213	MAR13	Crecimientos densos en poca superficie.
CM	221	ABR13	Crecimientos regulares a lo largo del filamento
CM	230	MAY13	Crecimientos regulares a lo largo del filamento
CM	237	JUN13	Crecimientos regulares a lo largo del filamento
CM	247	JUL13	Crecimientos regulares a lo largo del filamento y presencia de <i>Cyanocystis xenococcoides</i>

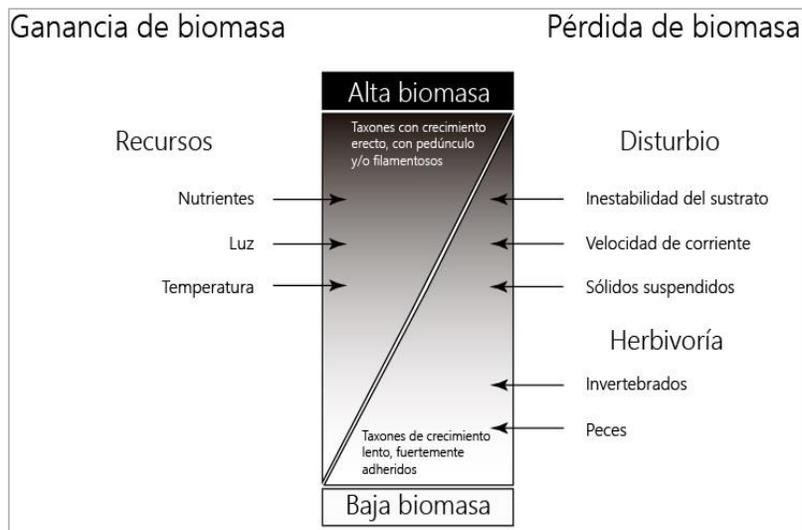
Tipos de células observadas de *Xenococcus* spp. por muestra.

Nº muestra	<i>Xenococcus bicudoii</i>	<i>Xenococcus lamellosus</i>
CM 182	Predomina en la muestra. Presencia de células vegetativas, células en fisión binaria y algunos nanocitos tipo II.	Pocas células en la muestra. Algunas células vegetativas (madre) y algunas en división nanocítica tipo Gilkeyae.
CM 194	Las células en filas (tipo III) y en división nanocítica tipo II fueron las más evidentes, además de presencia de células en fisión binaria.	Ausente
CM 204	Esta especie predomina en la muestra. Las células en filas (tipo III) fueron más evidentes, además de presencia de células en fisión binaria y en división nanocítica tipo II.	Pocas células en la muestra. Muchas células madre y algunas en división nanocítica tipo Gilkeyae.
CM 213	Un solo tipo de célula de esta especie. Presencia de nanocitos tipo II.	Presencia de células vegetativas, células en fisión binaria y en división nanocítica tipo Gilkeyae. Vaina muy evidente en las células.
CM 221	Predomina en la muestra. Muchas células en filas (tipo III) , pocas células vegetativas y en división nanocítica tipo II.	Pocas células Sólo algunas células en división tipo IV.
CM 230	Células en fisión binaria, en filas y en división nanocítica tipo I, II y III	Ausente
CM 237	Células en división nanocítica tipo II y en filas.	Predomina Células color violeta con gránulos, en fisión binaria, células vegetativas, en división nanocítica tipo IV.
CM 247	Células en fisión binaria, división nanocítica tipo II y en filas.	Células vegetativas, en fisión binaria y en división nanocítica tipo IV.

Anexo 4. Factores ambientales que influyen en la presencia de las algas perifíticas

Las cianoprocariontes perifíticas contribuyen a definir el perfil ecológico de los ecosistemas lóticos. Biggs (1996) señaló que la interacción entre las algas perifíticas y el ambiente está regulada por dos tipos de factores: las variables próximas, relacionadas con la pérdida o acumulación de biomasa y las variables últimas, que están relacionadas con el paisaje. Cuando los recursos de nutrientes y luz tienen un suministro importante en el ambiente, predominan las especies filamentosas de clorofitas y las diatomeas pedunculadas; si esto ocurre en ambientes lóticos de corrientes suaves y con baja frecuencia de inundaciones, la abrasión sobre el sustrato es mínima, por lo que la biomasa de algas perifíticas en general, alcanza valores altos. La herbivoría en estas condiciones sólo ejerce una presión baja a mediana y sumadas, estas características sugieren que el ambiente estaría funcionando con un disturbio mediano a bajo.

Lo contrario, es decir cuando hay una alta velocidad de corriente que genera inestabilidad del sustrato, la abrasión por los sedimentos frecuentemente suspendidos posibilita el crecimiento casi único de especies de algas que con un crecimiento lento, tienden a formar películas compactas o costrosas, muy adheridas al sustrato; entonces la presión de herbivoría, controlada por invertebrados y peces, toma un papel decisivo, por lo que quedan ausentes las filamentosas laxas y las diatomeas pedunculadas.



Esquema sobre los conceptos de disturbio – suministro de recursos – herbivoría.
Modificado de Biggs (1996).

Anexo 5. Observaciones generales de la comunidad bentónica.

Observaciones generales a nivel de comunidad bentónica sobre sustrato vegetal.

Presencia a nivel de comunidad bentónica	Arroyo	Canal
Presencia de fauna	Sí, sobre <i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i> (<i>Vorticella</i> sp., rotíferos, crustáceos y galerías de gusanos).	Sí, de peces (esporádicamente)
Forma de vida de las diatomeas	Diatomeas pedunculadas, adnadas y en forma de filamentos.	Diatomeas pedunculadas, en forma de filamentos y adnadas.

Nivel del agua observado y crecimientos en campo.

Mes/Año	Arroyo	Canal	Época
Sep12	-	Mucha corriente después de la compuerta.	Lluvias
Oct12	-	Muy inundado después de la compuerta, corriente moderada.	Lluvias
Nov12	Bajo nivel de agua.	Bajo nivel de agua.	Disminución de lluvias
Ene13	Bajo nivel de agua.	Bajo nivel de agua.	Secas
Feb13	Orillas semiestancadas y enlodadas. Mucha hojarasca.	Corriente moderada.	Secas
Mar13	Muy bajo nivel de agua (menor que en febrero). Muchas clorofitas. Mucho oxígeno (visible en forma de burbujas entre filamentos de <i>R. hieroglyphicum</i>).	Filamentos cafés (con epífitos), solo antes de la compuerta.	Secas
Abr13	Bajo nivel de agua, pocas clorofitas y poco oxígeno (olor a descomposición). Crecimientos visibles (blanquecinos) de bacterias.	Muy bajo nivel de agua después de la compuerta. Solo se tomaron muestras antes de la compuerta, donde había menor corriente.	Secas
May13	Mayor nivel de agua que en abril. Ligero olor a descomposición. Crecimientos blanquecinos de bacterias.	Antes de la compuerta: mayor nivel de agua que en abril y poca corriente; después de la compuerta: menos agua que en abril y mucha corriente.	Secas (Lluvias esporádicas)
Jun13	Bajo nivel de agua, crecimientos de filamentos solo en el fondo. Crecimientos blanquecinos de bacterias.	Antes de la compuerta: poca corriente; Después de la compuerta: Bajo nivel de agua y mucha corriente.	Inicio de lluvias
Jul13	Mayor volumen de agua y mucha hojarasca.	Nivel medio de agua, antes y después de la compuerta.	Lluvias
Ago13	Nivel de agua intermedio, sin clorofitas filamentosas	Mucha agua antes de la compuerta.	Lluvias
Sep13	Bajo nivel de agua. Materia orgánica en descomposición y olor a descomposición.	Mucha agua antes de la compuerta, pocos crecimientos de clorofitas.	Lluvias

REFERENCIAS

- 1) Azim, M. E. *Photosynthetic Periphyton and Surfaces*. En: Likens, G.E. (2009). *op. cit.* pp. 184-191.
- 2) Bellinger, E. G. & D. C. Sigeo (2010). *Freshwater Algae. Identification and Use as Bioindicators*. John Wiley & Sons. Gran Bretaña. 285 pp.
- 3) Biggs, B. J. *Patterns in Benthic Algae of Streams*. En: Stevenson, R. J., Botwell, M. L., & R. L. Low (Eds.) (1996). *op. cit.* pp. 31-56.
- 4) Bojorge García, M. G. (2002). *Ecología de comunidades algales en una localidad del Río La Magdalena, D.F.* Tesis de Licenciatura, Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 5) Bojorge García, M. G. (2013). *Comunidades algales de afluentes de la presa Valle de Bravo, Estado de México*. Tesis de Doctorado en Ciencias (Ecología), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 6) Cantoral U., E. A., Carmona J., J., González G., J. Y G. Montejano Z. *Algas indicadoras de la calidad del agua en el río la Magdalena, Delegación Magdalena Contreras, Distrito Federal, México*. En: Ponce N., D. Y M.V. Alegre G. (Eds.). (1999). Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental (Aire-Agua), Tomo I. Gobierno del Distrito Federal, México. 299-332.
- 7) Carmona, J. Y A. Caro-Borrero. *La calidad ecológica de los ríos periurbanos de la cuenca de México y el Distrito Federal*. En: Aguilar, A. *La Ciudad de México en el siglo XXI*. (2015). Editorial Porrúa. Ciudad de México, México. pp. 37-45.
- 8) Carmona-Jiménez, J. & A. Caro-Borrero. (2017). *The last peri-urban rivers of the México Basin: establishment of potential reference conditions through the evaluation of ecological quality and biological indicators*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88: 425-436.
- 9) Cartajena Alcántara, M. G. (2004). *Taxonomía y distribución de cianofitas filamentosas de La Huasteca, México*. Tesis de Licenciatura, Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 10) Casamatta, D. A. & P. Hašler. *Blue-Green Algae (Cyanobacteria) in Rivers*. En: Necchi, O., Jr. (2016). *op. cit.* pp. 5-34.
- 11) Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., Romero-Romero, M.A., Guadarrama-Chávez, P., Núñez-Castillo, O., Sánchez-Gallén, I. y J.A. Meave. (2007). *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: aspectos florísticos y ecológicos*. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. pp. 15.

- 12) Ceballos Ramírez, A. D. (2016). *Estudio florístico ficológico anual de la Cantera Oriente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA)*, CDMX, México. Tesis de Licenciatura, Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 13) CONAGUA (2010). *Compendio del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XII. Edición 2010. Lo que se debe saber del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México*. Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua, SEMARNAT. CDMX, México. 187 pp.
Disponible en línea en: http://centro.paot.org.mx/documentos/conagua/compendio_del_agua_.pdf
- 14) Crump B.C. & E.W. Koch. (2008). *Attached Bacterial Populations Shared by Four Species of Aquatic Angiosperms*. *Appl. Environ. Microbiol.* 74 (19): 5948-5957.
- 15) Fattom A. & M. Shilo. (1984). *Hydrophobicity as an Adhesion Mechanism of Benthic Cyanobacteria*. *Appl. Environ. Microbiol.* 47 (1): 135-143.
- 16) Font Quer, P. (1977). *Diccionario de Botánica*. Editorial Labor. Barcelona, España. 1244 pp.
- 17) Geitler, L. & F. Ruttner. (1935). *Die Cyanophyceen der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition, ihre Morphologie, Systematik und Ökologie*. *Archiv für Hydrobiologie, Suppl.-Bd. XIV "Tropische Binnengewässer, Band VI"*. Viena. pp 394-397.
- 18) Giller, P. & B. Malmqvist. (1998). *The Biology of Streams and Rivers*. Oxford University Press. Gran Bretaña. 296 pp.
- 19) González-González, J. Y E. Novelo-Maldonado. En: Lot, A. Y Chiang, F. (Comps.). *Manual de Herbario: Administración y manejo de colecciones, técnicas y preparación de ejemplares botánicos*. (1986). Consejo Nacional de la Flora de México A. C. México. pp. 47-54.
- 20) Gold-Morgan, M., Montejano, G. & J. Komárek. (1994). *Freshwater epiphytic cyanoprokaryotes from Central Mexico. II. Heterogeneity of the Genus Xenococcus*. *Arch. Protistenkd.* 144: 383-405.
- 21) Gold-Morgan, M., Montejano, G. & J. Komárek. (1996). *Freshwater epiphytic Chamaesiphonaceae from Central Mexico*. *Stuttgart, Algological Studies* 83: 257-271.
- 22) Greenacre, M. (2008). *La práctica del análisis de correspondencias*. 1ra ed. Fundación BBVA. Bilbao, España. 384 pp.
- 23) Hernández Martínez, O., Quiroz Flores, A., Ramírez-García, P. y A. Lot. *Paisaje Lacustre: Ecología de la vegetación acuática*. En: Lot, A. (2007). *op. cit.* pp. 45-49.
- 24) Komárek, J., & K. Anagnostidis. (1998). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales*. Vol. 19/1, Gustav Fischer Verlag Jena. Stuttgart. 548 pp.

- 25) Komárek, J. (2003). *Cocoid and Colonial Cyanobacteria*. En: Wehr, J. D. & R. G. Sheath (2003). *op. cit.* pp. 59-116.
- 26) Komárek, J., & K. Anagnostidis. (2005). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales*. Vol. 19/2, Elsevier. München. 759 pp.
- 27) Komárek, J. (2013). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota 3rd Part: Heterocytous Genera*. Vol. 19/3, Springer-Verlag. Berlín, Alemania. 1130 pp.
- 28) Komárek J. & T. Hauer (2013): *CyanoDB.cz - On-line database of cyanobacterial genera*. Publicación electrónica, Univ. del Sur de Bohemia e Instituto de Botánica, Rep. Checa., <http://www.cyanodb.cz>
- 29) Komárek, J., Komárková, J. & H. Kling. (2003). *Filamentous Cyanobacteria*. En: Wehr, J. D. & R. G. Sheath (2003). *op. cit.* pp. 117-196.
- 30) Larned, S. T. (2010). *A prospectus from periphyton: recent and future ecological research*. J. N. Am. Benthol. Soc. 29 (1): 182-206.
- 31) Lee, R. E. (2008). *Phycology*. 4ta ed. Cambridge University Press. Nueva York, Estados Unidos. 561 pp.
- 32) Likens, G.E. (2009). *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press. Estados Unidos. 703 pp.
- 33) Lot, A. (Coord.) (2007). *Guía Ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización Ambiental e Inventario Biológico*. Coordinación de la Investigación Científica, UNAM. D. F., México. pp. 7-11.
- 34) Lot, A. y Z. Cano-Santana. (Eds.) (2009). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Libro Conmemorativo del 25 aniversario de la Reserva Ecológica de Ciudad Universitaria (1983-2008)*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Coordinación de la Investigación Científica, UNAM. CDMX, México. 538 pp.
- 35) Loza, V., Perona, E., Carmona, J. & P. Mateo. (2013). *Phenotypic and genotypic characteristics of Phormidium-like cyanobacteria inhabiting microbial mats are correlated with the trophic status of running waters*. Eur. J. Phycol., 48(2): 235-252.
- 36) Mazari-Hiriart, M., Pérez-Ortiz, G., Orta-Ledesma, M. T., Armas-Vargas, F., Tapia, M. A., Solano-Ortiz, R., Silva, M. A., Yañez-Noguez, I., López-Vidal, Y. & C. Díaz-Ávalos. *Final Opportunity to Rehabilitate an Urban River as a Water Source for Mexico City*. (2014). PLoS ONE 9(7): e102081.
- 37) Michael, T.S., Shin, H.W., Hanna, R. & C.D. Spafford. 2008. *A review of epiphyte community development: Surface interactions and settlement on seagrass*. Journal of Environmental Biology 29(4): 629-638.

- 38) Montejano, G., Gold, M., & J. Komárek. (1993). *Freshwater epiphytic cyanoprokaryotes from Central Mexico. I. Cyanocystis and Xenococcus*. Arch. Protistenkd. 143: 237:247.
- 39) Necchi, O., Jr. (Ed.). (2016). *River Algae*. Springer. Suiza. 279 pp.
- 40) Needham, J. G. & P. R. Needham. (1962). *A guide to the study of Fresh-water Biology*. 5ta ed. Holden-Day. California. 108 pp.
- 41) Nguyen, H., Lamb, D., Herbohn, J. & J. Firm. (2014). *Designing Mixed Species Tree Plantations for the Tropics: Balancing Ecological Attributes of Species with Landholder Preferences in the Philippines*. PLOS ONE 9(4) e95267.
- 42) Novelo, E., Ponce, E., Ramírez, R. y M. Ramírez. *Algas*. En: Lot, A. (2007). *op. cit.* pp. 63-95.
- 43) Novelo, E., Ponce, M. E. y R. Ramírez (2009). *Las microalgas de la Cantera Oriente*. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (2009). *op. cit.* pp. 71-80.
- 44) Novelo, E. (2011). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Cyanoprokaryota*. Fasc. 90, Instituto de Biología, UNAM y CONABIO. México. 96 pp.
- 45) Novelo, E. (2012). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Chlorophyta*. Fasc. 94, Instituto de Biología, UNAM y CONABIO. México. 86 pp.
- 46) Ortiz-Pérez, M. A., Figueroa Mah Eng, J. M., Salazar Enciso, M. P., Parada Colin, G. y L. Castillo Pérez. *Unidades Ambientales*. En: Lot, A. (2007). *op. cit.* pp. 15-42.
- 47) Perona, E. & P. Mateo. (2006). *Benthic cyanobacterial assemblages as indicators of nutrient enrichment regimes in a Spanish river*. Acta Hydrochim. Hydrobiol. 34: 67-72.
- 48) Ramírez V., M., Beltrán M., Y., Bojorge G., M., Carmona J., J., Cantoral U., E. A. & F. Valadez C. (2001). *Flora algal del Río La Magdalena, Distrito Federal, México*. Bol. Soc. Bot. México. 68: 45-67.
- 49) Rippka, R. (1988). *Recognition and identification of cyanobacteria*. Methods of Enzymology. 167: 28-67.
- 50) Rodríguez Flores, R. (2014). *Diversidad y distribución de algas macroscópicas en ríos de alta montaña de la Cuenca de México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 51) Round, F. E. (1973). *The Biology of the algae*. 2da ed. St. Martin's Press. Nueva York. pp. 57-73.

- 52) Round, F. E. (1981). *The Biology of the algae*. Cambridge University Press. Gran Bretaña. 657 pp.
- 53) Sciuto, K., Andreoli, C., Rascio, N., La Rocca, N. & I. Moro. (2012). *Polyphasic approach and typification of selected Phormidium strains (Cyanobacteria)*. *Cladistics*. 28: 357-374.
- 54) Sigeo, D. C. (2005). *Freshwater Microbiology: Biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the freshwater environment*. John Wiley & Sons, West Sussex. Inglaterra. 524 pp.
- 55) Skuja, H. (1937). *Symbolae Sinicae. Botanische Ergebnisse Der Expedition Der Akademie Der Wissenschaften In Wien Nach Südwest-China 1914/1918. I Teil. Algae*. Julius Springer. Viena. pp. 8, 42.
- 56) Stevenson, R. J., Botwell, M. L., & R. L. Low (Eds.) (1996). *Algal Ecology. Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press. Estados Unidos. pp. 3-30.
- 57) Triola, M. F. (2004). *Estadística*. 9ª ed. Pearson Educación. EDOMEX, México. 838 pp.
- 58) Valadez C., F., Carmona J., J. & E. A. Cantoral U. (1996). *Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos, México*. *Anales Inst. Biol. Ser. Bot.* 67(2): 227-282.
- 59) Valadez Cruz, F. (1998). *Empleo de crecimientos algales para la caracterización de ambientes lóticos en la Cuenca Baja del Río Amacuzac, Morelos*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 60) Wehr, J. D. & R. G. Sheath. (Eds.) (2003). *Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification*. Academic Press. California, Estados Unidos. 469 pp.
- 61) Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3ra ed. Elsevier. Estados Unidos. 1006 pp.
- 62) Whitton, B. A. (Ed.). (2012). *Ecology of Cyanobacteria II. Their Diversity in Space and Time*. Springer. Reino Unido. 760 pp.
- 63) Whitton, B. A. & M. Potts. (2012). *Introduction to the Cyanobacteria*. En: Whitton, B. A. (2012). *op. cit.* pp. 1-13.
- 64) Zulkifly, S., Hanshew, A., Young, E.B., Lee, P., Graham, Mellisa E., Graham, Michael E., Piotrowski, M. & L.E. Graham. (2012). *The epiphytic microbiota of the globally widespread macroalga Cladophora glomerata (Chlorophyta, Cladophorales)*. *American Journal of Botany* 99(9): 1541-1552.
- 65) Zulkifly, S., Graham, J.M., Young, E.B., Mayer, R.J., Piotrowski, M., Smith, I. & L.E. Graham. (2013). *The genus Cladophora Kützing (Ulvophyceae) as a globally distributed ecological engineer*. *J. Phycol.* 49: 1-17.