



Darwiniana, nueva serie

ISSN: 0011-6793

ISSN: 1850-1702

Instituto de Botánica Darwinion & Museo Botánico de Córdoba

Melo, Ximena Flores; Rosa, I. Nadia de la; Wenzel, María T.; Díaz, Mónica M.
CIANOBACTERIAS ÁCIDO-TERMÓFILAS DEL COMPLEJO
TERMAL COPAHUE, NEUQUÉN, ARGENTINA

Darwiniana, nueva serie, vol. 7, núm. 1, 2019, pp. 39-56
Instituto de Botánica Darwinion & Museo Botánico de Córdoba

DOI: <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2019.71.834>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66976121003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UNEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



CIANOBACTERIAS ÁCIDO-TERMÓFILAS DEL COMPLEJO TERMAL COPAHUE, NEUQUÉN, ARGENTINA

Ximena Flores Melo¹, I. Nadia de la Rosa², María T. Wenzel³ & Mónica M. Díaz²

¹ Laboratorio de Oceanografía, Centro Austral de Investigaciones Científicas, Bernardo Houssay 200, V9410CAB Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

² Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250, (8400) Bariloche, Río Negro, Argentina; diazmm@comahue-conicet.gob.ar (autor corresponsal).

³ Ex docente investigadora Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires, C1428EHA Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Abstract. Flores Melo, X.; I. N. de la Rosa, M. T. Wenzel & M. M. Díaz. 2019. Acid-thermophilic cyanobacteria of the Copahue Thermal Complex, Neuquén, Argentina. *Darwiniana*, nueva serie 7(1): 39-56.

The objective of this work was to identify the species of acid-thermophilic cyanobacteria which, together with the waters, microalgae and mud, are important thermal resources used for therapeutic purposes in the Copahue Thermal Complex. The work presents descriptions, comments, and illustrations of the 11 identified species belonging to nine genera: *Chroococcidiopsis*, *Chroococcus*, *Kamptomena*, *Komvophoron*, *Leptolyngbya*, *Mastigocladus*, *Oscillatoria*, *Phormidium* and *Spirulina*, collected in ten sampling sites. Five species: *Chroococcus membraninus*, *Chroococcidiopsis thermalis*, *Spirulina gracilis*, *Phormidium thermobium*, and *Komvophoron jovis*, are cited for the first time for Argentina. In addition, four species were isolated and maintained in unialgal culture: *Chroococcus membraninus*, *Chroococcidiopsis thermalis*, *Kamptomena animale* and *Mastigocladus laminosus*. *M. laminosus* was the most frequently encountered species of the area, since it was found in eight of the ten sites. The Laguna Los Callos was the most diverse site, with the largest number of species, eight in total. All the species of cyanobacteria studied in the present work are used, either through the direct application of the mats or through the use of their active components in water, and mud.

Keywords. Argentina; Copahue; Cyanobacteria; Cyanoprokaryota; hot springs.

Resumen. Flores Melo, X.; I. N. de la Rosa, M. T. Wenzel & M. M. Díaz. 2019. Cianobacterias ácido-termófilas del Complejo Termal Copahue, Neuquén, Argentina. *Darwiniana*, nueva serie 7(1): 39-56.

El objetivo de este trabajo fue identificar las especies de cianobacterias ácido-termófilas que, junto con las aguas, microalgas y fangos, son importantes recursos termales utilizados con fines terapéuticos en el Complejo Termal Copahue. El trabajo presenta descripciones, comentarios e ilustraciones de las 11 especies identificadas pertenecientes a nueve géneros: *Chroococcidiopsis*, *Chroococcus*, *Kamptomena*, *Komvophoron*, *Leptolyngbya*, *Mastigocladus*, *Oscillatoria*, *Phormidium* y *Spirulina* recolectadas en diez sitios de muestreo. Cinco especies: *Chroococcus membraninus*, *Chroococcidiopsis thermalis*, *Spirulina gracilis*, *Phormidium thermobium* y *Komvophoron jovis*, son citadas por primera vez para la Argentina. Además, se aislaron y mantuvieron en cultivo unialgal cuatro especies: *Chroococcus membraninus*, *Chroococcidiopsis thermalis*, *Kamptomena animale* y *Mastigocladus laminosus*. *M. laminosus* resultó ser la especie encontrada con mayor frecuencia en el área, ya que se la registró en ocho de los diez sitios. La Laguna Los Callos fue el sitio con mayor diversidad, donde se registró el mayor número de especies, ocho en total. Todas las especies de cianobacterias estudiadas en el presente trabajo son utilizadas, ya sea mediante la aplicación directa de las matas o por la utilización de sus componentes activos, en las aguas y en los fangos.

Palabras clave. Aguas termales; Argentina; Copahue; Cyanobacteria; Cyanoprokaryota.

INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua termales son ambientes extremos en regiones geológicamente activas donde las fuentes geotérmicas influyen en la temperatura que puede oscilar entre 35 y 110 °C. Las áreas termales del mundo comparten características similares, las que fueron compiladas en los trabajos de Castenholz & Wickstrom (1975), Brock (1985), Ward & Castenholz (2000), quienes revisaron la geología, la química y los organismos de las aguas termales. Las temperaturas pueden ser bastante constantes cerca de la fuente, pero pueden variar desde aproximadamente 110 °C (con altas concentraciones de sales) hasta por encima de la temperatura ambiente, dependiendo del volumen del agua termal, la distancia de la fuente y los volúmenes de agua superficial que ingresa a un sistema.

La temperatura no es la única condición extrema para los organismos termófilos; la mayoría de los manantiales tienen concentraciones elevadas (50-150 mgL⁻¹) de iones inorgánicos (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, HCO³⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Si y H₂S) y pH elevado (8-10). Estas condiciones seleccionan organismos altamente adaptados, especialmente bacterias quimio-autótrofas y heterótrofas en condiciones muy calientes (>70 °C a 94 °C) (Brock, 1985). Entre los organismos fotosintéticos, las cianobacterias son las más comunes a lo largo del gradiente térmico, con un límite superior entre 70 y 73 °C. Las algas eucariotas están restringidas a un máximo de 55 °C.

Algunas fuentes termales son altamente ácidas, lo que limita aún más la diversidad de sus especies. Un notable eucariota, el alga roja *Cyanidium caldarium* (Tilden) Geitler, es a menudo el único organismo fotosintético en aguas termales muy ácidas (pH 2-4) tolerando hasta aproximadamente 55 °C (Whitton & Potts, 2000).

Es conocido que los pueblos de la antigüedad: babilonios, egipcios, griegos y romanos hacían uso de aguas termales como baños curativos (Ficosecco, 2006). En América, los mayas utilizaban aguas termales como agentes terapéuticos y algunas tribus de América del Norte recurrían a las aguas termales como los baños de vapor seguidos de aplicaciones de agua fría para sanar enfermedades (Monasterio, 2009).

En América, las aguas termales son comunes desde el sur de Alaska hasta Argentina. Entre los centros termales más conocidos se encuentra el área termal de manantiales, géiseres y fumarolas en el Parque Nacional de Yellowstone (Whitton & Potts, 2000). Argentina fue el primer país sudamericano en contar con un establecimiento termal usado con criterio médico: Rosario de la Frontera en Salta, que fue fundado en 1878 por el médico español Antonio Palau (Monasterio, 2009).

Las Termas de Copahue, utilizadas desde tiempos inmemoriales por los pueblos nativos de la zona, son reconocidas internacionalmente por la calidad y variedad de sus aguas (Ficosecco, 2006). En 1890, se tiene el primer registro de una derivación médica al Complejo Termal Copahue y recién en los primeros años del siglo XX se iniciaron los estudios físico-químicos de las aguas de la “Zona Termal Copahue” culminando en 1937, con la creación de la Reserva Nacional Copahue, posteriormente denominada Parque Provincial Copahue (Monasterio, 2009).

Las investigaciones sobre algas ácido-termófilas de Copahue se iniciaron en la década de 1990, por el grupo de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (FCEyN-UBA), bajo la dirección del Dr. Juan Accorinti y enfocados en el estudio de los componentes activos de las microalgas termófilas. Más recientemente, los trabajos de Juárez y colaboradores (2007, 2008, 2011) trataron aspectos fisiológicos de *Parachlorella kessleri* (Fott & Nováková) Krienitz, E.H. Hegewald, Hepperle, V. Huss, T. Rohr & M. Wolf, especie termal perteneciente al grupo de las Chlorophyta.

A pesar de estos antecedentes, no se ha realizado aún un relevamiento de la diversidad de las especies de microalgas presentes en las mencionadas manifestaciones termales, ni una caracterización de los ambientes donde viven estos organismos.

En este trabajo se realizó un relevamiento de las cianobacterias ácido-termófilas presentes en los diferentes cuerpos de agua que forman parte del Complejo Termal Copahue y una caracterización físico-química de los mismos. El área de estudio elegida presenta marcados gradientes de pH y de temperatura, donde las especies de cianobacterias se desarrollan en condiciones extremas.

Las características especiales de las aguas, barros o fangos y microorganismos termales (microalgas y cianobacterias) mantienen en vigencia las extraordinarias posibilidades terapéuticas de éstos recursos naturales, los cuales son utilizados en afecciones reumatológicas, osteoartículomusculares, dermatológicas (psoriasis, eccemas, acné, eritremas, dermatitis aguda) y respiratorias (asma, bronquitis enfisema, sinusitis y rinofaringitis crónicas) (Ubogui et al., 1990, 1991, 2007; De Micele, 2007; Monasterio, 2012).

El objetivo de este trabajo fue el de identificar las especies de cianobacterias ácido-termófilas, que junto con las aguas, microalgas y fangos, son importantes recursos termales utilizados actualmente con fines terapéuticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio.

El Parque Provincial Copahue se encuentra en el noroeste la provincia de Neuquén (Fig. 1A-C) y presenta numerosas manifestaciones termales de origen volcánico, algunas de las cuales forman parte del Complejo Termal Copahue. El área del Complejo Termal propiamente dicho, también llamada Los Baños y otras en zonas aledañas (Las Máquinas y Las Maquinitas), se localiza en un cañadón poco profundo, a una altura de 2010 m s. m., a 37°49'S y 71°06'O, abarcando una extensión de 600 m E-O y entre 150 y 200 m N-S. En este sector se encuentran tres tipos de manifestaciones características de la actividad termal: olletas, fumarolas y respiraderos chicos, en un terreno barroso-fangoso y arcilloso. La acidez de las aguas está relacionada con los gases de la actividad fumarólica. Las fumarolas y hervideros del suelo mineralizan las aguas de deshielo y los fangos, formando diferentes recursos termales que por su diversidad y simultaneidad son difíciles de encontrar en otro lugar del planeta: aguas mineromedicinales, vapores terapéuticos, fangos y algas (Monasterio, 2009).

Dentro del Complejo Termal Copahue se encuentran 10 surgentes ácido-termales (Monasterio, 2012) con marcadas diferencias físico-químicas, a pesar de encontrarse

próximas unas de otras (Fig. 1C). Estas variables fueron registradas el 16 de febrero de 2012, midiendo *in situ* la conductividad (electrodo Orion135), la temperatura del agua (YSI termistor), el pH (electrodo Orion 265) y el oxígeno disuelto (oxímetro Orion 380). Se registraron los hábitats de cada muestra y se los caracterizó siguiendo los criterios de Komárek & Anagnostidis (1998, 2005).

Las muestras fueron tomadas con espátula y/o red de plancton con poro de 10 µm, según las características de cada lugar. Se recolectaron en total 10 muestras, una por cada manifestación termal, las que se dividieron en dos partes: una fue fijada en formol al 3% para las identificaciones taxonómicas y la otra se mantuvo sin fijar para los aislamientos y cultivos (González Reyes, 2000). Los aislamientos se realizaron con técnicas microbiológicas (González et al., 1995). Las cianobacterias aisladas se cultivaron en Erlenmeyers de 50 ml en medio de cultivo BG- 11 (Rippka et al., 1979) y se mantuvieron en condiciones controladas de luz y temperatura en una cámara de incubación NeoLine IncuLab 300.

Las muestras, fijadas con formol neutralizado al 4%, están depositadas en el herbario del Centro Regional Universitario Bariloche -BCRU- (Universidad Nacional del Comahue). Las cianobacterias fijadas y en cultivo fueron observadas y dibujadas con microscopio óptico equipado con cámara clara (Olympus BX40).

Para la identificación de las especies de Cyanobacteria (ex Cyanophyta) se utilizó bibliografía especializada: Geitler, 1932; Copeland, 1936; Desikachary, 1959; Starmach, 1966; Anagnostidis & Komárek, 1985, 1988; Komárek & Anagnostidis, 1986, 1998, 2005 y revisiones recientes Hašler et al., 2012; Komárek et al., 2014; Strunecky et al., 2014; Mai et al., 2018. La sistemática de los grupos taxonómicos y los datos nomenclaturales fueron consultados en la página del AlgaeBase (<http://www.algaebase.org/>).

A continuación se detallan los sitios de colección del Complejo Termal Copahue (Fig. 1C), ordenadas de N a S y de E a O; se indican las coordenadas geográficas y los números de ejemplar asignados por BCRU:

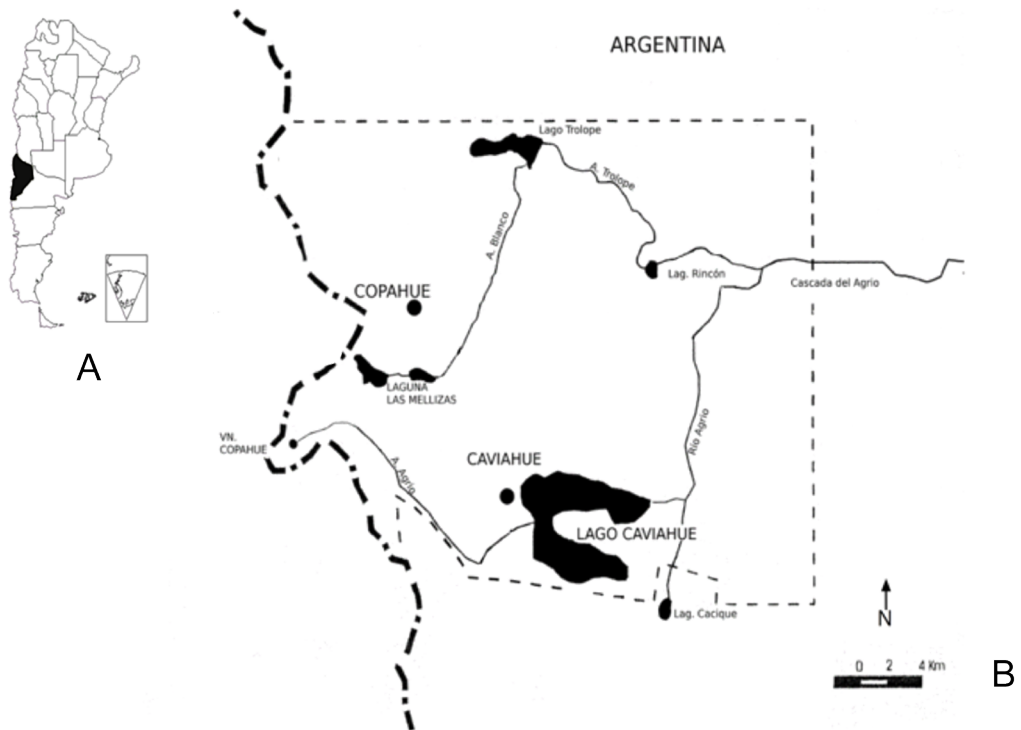


Fig. 1. Área de estudio y sitios de colección. **A**, ubicación de la Provincia del Neuquén en Argentina. **B**, Área Natural Protegida Copahue. **C**, plano con los sitios de colección en el Complejo Termal Copahue.

1. **Agua de Copahue o Vichy** ($37^{\circ}49'5.1''\text{S}$, $71^{\circ}05'48.4''\text{O}$). BCRU 05482

2. **Canal de Salida de Agua de Copahue** ($37^{\circ}49'5.3''\text{S}$, $71^{\circ}05'48.5''\text{O}$). BCRU 05483

3. **Laguna Sulfurosa** ($37^{\circ}49'5.9''\text{S}$, $71^{\circ}05'54.8''\text{O}$). BCRU 05486

4. **Laguna de las Algas** ($37^{\circ}49'06''\text{S}$, $71^{\circ}05'54''\text{O}$). BCRU 05481

5. **Estanque Laguna Verde** ($37^{\circ}49'6.2''\text{S}$, $71^{\circ}05'51.9''\text{O}$). BCRU 05490

6. **Laguna de El Chanco** ($37^{\circ}49'6.4''\text{S}$, $71^{\circ}05'57.2''\text{O}$). BCRU 05484

7. **Laguna Los Callos** ($37^{\circ}49'6.4''\text{S}$, $71^{\circ}05'56.1''\text{O}$). BCRU 05485

8. **Manantial Agua del Mate** ($37^{\circ}49'6.8''\text{S}$, $71^{\circ}05'57.3''\text{O}$). BCRU 05488

9. **Manantial Agua Ferruginosa** ($37^{\circ}49'3.3''\text{S}$, $71^{\circ}05'59.1''\text{O}$). BCRU 05487

10. **Manantial Agua Sulfurosa** ($37^{\circ}49'7.1''\text{S}$, $71^{\circ}05'59.7''\text{O}$). BCRU 05489

RESULTADOS

Condiciones ambientales

Las características físico-químicas medidas “in situ” (pH, conductividad, temperatura) se presentan en la Tabla 1. Los valores de pH variaron entre 3,4 y 6,7 con predominancia de valores cercanos a 6. Los valores de conductividad eléctrica oscilaron en un orden de magnitud entre 283 y 2152 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y con mayor frecuencia se registraron valores superiores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La temperatura del agua medida en los sitios relevados osciló entre 22,6 y 60,4 °C, con valores frecuentes mayores a 50 °C.

Resultados taxonómicos

Las especies de cianobacterias identificadas en las muestras recolectadas en las surgentes del Complejo Termal Copahue se presentan en la Tabla 2.

A continuación, se describen e ilustran las especies y se indican las observaciones correspondientes, distribución geográfica y características del hábitat.

Descripción de las Cianobacterias aisladas en el Complejo Termal Copahue

Orden Chroococcales

Familia Chroococcaceae

Chroococcus membraninus (Meneghini) Nägeli, Schweizerischen Gesellschaft für die Gesamten Naturwissenschaften 10 (7): 46. 1849. *Pleurococcus membraninus* Meneghini, Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino serie 2 Tomo V: 34. 1843. Fig. 2A.

Agregados microscópicos o macroscópicos, verde-azul oscuro o pardo, delgados, planos y mucilaginosos. Mucílago amplio, incoloro, no estratificado, con numerosas células dispuestas irregularmente o en grupos de 2-4. Células verde-azul claro a oscuro, esféricas o hemisféricas, 4-5 (-6) μm de diám., con envolturas individuales incoloras, homogéneas o ligeramente estratificadas. Contenido celular finamente granuloso.

Distribución y hábitat. Esta especie ha sido encontrada en Europa (Italia), Asia (Kuwait, Arabia Saudita), América del Norte (Arkansas y

Florida), Australia y Nueva Zelanda (Komárek & Anagnostidis, 1998). El género *Chroococcus* está ampliamente distribuido en la Argentina, a través de su especie *C. turgidus* (Kützinger) Nägeli, la cual ha sido registrada para Jujuy, Salta, Tucumán, Corrientes, Catamarca, Buenos Aires, Neuquén, Río Negro y Tierra del Fuego (Tell & Vélez, 1982; Tell, 1985; Tracanna, 1985; Guarrera et al., 1987; Mirande & Tracanna, 2007).

Chroococcus turgidus y *C. yellowstonensis* Copeland fueron identificadas para las termas asociadas al volcán Domuyo (Wenzel & Halperin, 1991).

Geitler (1932) señala que *Chroococcus membraninus* fue registrada en fuentes termales y en fangos calientes. Komárek & Anagnostidis (1998) mencionan que esta especie subaerófila y limícola, se encuentra cercana a las aguas termales. En las termas de Copahue se encontró subaerófila, limícola, epilítica y entre otras algas y cianobacterias. *Chroococcus membraninus* se cita por primera vez para la Argentina y en ambientes termales.

Observaciones. A diferencia de *C. membraninus*, *C. turgidus* presenta células de mayor tamaño (8-32 μm de diám.), mientras que las células de *C. membraninus* no superan los 6 μm de diám. (Copeland, 1936; Komárek & Anagnostidis, 1998). Las células de *Chroococcus turgidus* var. *thermalis* (Meneghini) Rabenhorst ex Hansgirg, tienen mayor diámetro: 6-10 μm y habita cuerpos de agua dulce termales neutros o alcalinos (pH 6,5-8,3). Sin embargo, el material de Copahue de *C. membraninus* se encontró a pH ácidos o neutros (pH 5-6) y fue aislada de las muestras vivas y cultivada en medio líquido BG-11, para complementar el estudio morfológico.

El material estudiado durante este trabajo concuerda con las ilustraciones de Boye-Petersen correspondientes a la especie (fig. 390 a, 1946 según Komárek & Anagnostidis, 1998).

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Laguna de las Algas, 16-II-2012, M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n. (BCRU 5481).

Tabla 1. pH, Conductividad ($\bar{U}$, $\mu\text{S}/\text{cm}$) y Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) medidos en cada sitio de muestreo.

N°	Sitio	pH	$\bar{U}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
1	Agua de Copahue o Vichy	6,1	874	40,0
2	Canal de salida de Agua de Copahue	6,0	283	22,6
3	Laguna Sulfurosa	3,4	2152	60,4
4	Laguna de las Algas	5,8	1016	45,8
5	Estanque al lado de la laguna Verde	5,5	752	50,0
6	Laguna El Chanco	6,0	1266	56,7
7	Laguna Los Callos	5,9	1003	38,8
8	Manantial Agua del Mate	6,3	1220	50,4
9	Manantial Agua Ferruginosa	6,1	1722	55,3
10	Manantial Agua Sulfurosa	6,7	1311	44,0

Orden Chroococcidiopsidales Familia Chroococcidiopsidaceae

Chroococcidiopsis thermalis Geitler, Arch. Hydrobiol. Suppl. 12: 625. 1933. Fig. 2B.

Agregados microscópicos o macroscópicos, delgados y planos, irregulares, de color verde-azul oscuro o pardo, formando membranas mucilaginosas. Mucílago amplio, incoloro, no estratificado, con numerosas células solitarias dispersas o en grupos de 2-3 (-4). Células verde-azul intenso a claro, de tamaño variable: 5 μm y hasta 9-10 μm de diám. cuando forma las estructuras reproductivas (baeocitos). Baeocitos redondeados, 1-2 μm de diám., en grupos de 4 por cada célula madre.

Distribución y hábitat. Esta especie ha sido encontrada en regiones tropicales, menos frecuentemente templadas de Europa (Grecia), Asia (Pakistán, Indonesia) y América (México, Cuba). Varios de estos registros han sido realizados a partir de muestras extraídas de surgentes termales (Komárek & Anagnostidis, 1998). Respecto del hábitat *C. thermalis* es subaerófito, epilítica, limícola, puede estar presente en matas algales sumergidas o flotantes. Esta especie termal se cita por primera vez en ambientes termales de la Argentina.

Observaciones. Se realizaron varios aislamientos y la especie se mantuvo en cultivo unialgal para completar el estudio sistemático.

Material representativo examinado

ARGENTINA. Neuquén. Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Manantial Agua Sulfurosa, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5489); Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5482); canal de salida de Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5483); Estanque al lado de la Laguna Verde, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5490).

Orden Synechococcales Familia Leptolyngbyaceae

Leptolyngbya boryana (Gomont) Anagnostidis & Komárek, Arch. Hydrobiol. Suppl. 80 1-4: 391. 1988. *Plectonema boryanum* Gomont, Bull. Soc. Bot. France, 46 :36, 1899. Fig. 2C.

Talos de color verde azulado claro, mucilaginosos formando matas. Filamentos verde-azul, rectos a más o menos flexuosos, solitarios o densamente entrelazados, (2,5-) 3,5-4 μm de diám. Ramificaciones falsas solitarias y geminadas. Tricomas ligeramente atenuados en los extremos o no, muy constrictos a nivel de las paredes transversales. Vainas firmes, delgadas

e incoloras. Células cortas, isodiamétricas hasta más largas que anchas, de 2-3,2 μm de ancho y de 1,2-3 (-4) μm de largo. Contenido celular diferenciado entre cromatoplasma y centroplasma. Célula apical cónica redondeada, ligeramente afinada, sin caliptra y sin engrosamiento apical.

Distribución y hábitat. *L. boryana* probablemente cosmopolita, se encuentra en ambientes marinos, salobres y de agua dulce. Ha sido registrada en Europa (Inglaterra, Irlanda, España), América del Norte (Arkansas, Maine, Massachusetts, Nebraska) América Central (Islas Revillagigedo), América del Sur (Argentina), Islas del Atlántico (Islas Canarias), Asia (Israel, Islas Oceánicas Indias), África (Egipto), Australia y Nueva Zelanda, Antártida e islas sub Antárticas (Tilden, 1910). En Argentina fue previamente registrada como *Phormidium fragile* Gomont en Jujuy (Puna de Atacama, Incahuasi) y la Antártida (Bahía Esperanza) (Tell, 1976). Los registros de ambientes termales son escasos y corresponden al Parque Yellowstone, en la Cueva Stygian y a las Surgentes Calientes Mammoth, con temperaturas que varían entre 13 y 23 °C y pH de 7,9-8 (Copeland, 1936) y en Asia Central para termas y fuentes minerales (Komárek & Anagnostidis, 2005).

En las termas de Copahue, la especie está presente en matas algales y entre otras cianobacterias. Se amplía la distribución geográfica de la especie para la Argentina, registrándola por primera vez para ambientes termales.

Tabla 2. Lista de las especies de cianobacterias encontradas en los distintos sitios de muestreo según Tabla 1. Sitios/spp: número de sitios en los que cada especie fue registrada, 1: Agua de Copahue o Vichy, 2: Canal de Salida de Agua de Copahue, 3: Laguna Sulfurosa, 4: Laguna de Las Algas, 5: Estanque de la Laguna Verde, 6: Laguna El Chanco, 7: Laguna Los Callos, 8: Manantial Agua del Mate, 9: Manantial Agua Ferruginosa y 10: Manantial Agua Sulfurosa. El símbolo “*” indica las especies que son citadas por primera vez para la Argentina.

Especie	Sitios/spp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Orden Chroococcales											
<i>Chroococcus membraninus</i> (Meneghini) Nägeli*	1							x			
Orden Chroococcidiopsidales											
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler*	4			x	x				x	x	
Orden Synechococcales											
<i>Leptolyngbya boryana</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	3	x						x	x		
Orden Spirulinales											
<i>Spirulina gracilis</i> Gruia*	2			x				x			
Orden Oscillatoriales											
<i>Kamptonema animale</i> (C. Agardh ex Gomont) Strunecký, Komárek & J. Smarda	2				x	x					
<i>Kamptonema formosum</i> (Bory ex Gomont) Strunecký, Komárek & J. Smarda	3					x		x		x	
<i>Oscillatoria subbrevis</i> Schmidle	4		x	x	x	x					
<i>Phormidium tergestinum</i> (Rabenhorst ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	3			x	x			x			
<i>Phormidium thermobium</i> Anagnostidis*	4					x	x	x	x		
<i>Komvophoron jovis</i> (Copeland) Anagnostidis & Komárek*	3							x		x	x
Orden Nostocales											
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn ex Kirchner	8	x	x	x	x	x		x	x	x	
Total de cianobacterias registradas en cada sitio		2	2	5	6	6	1	8	4	4	1

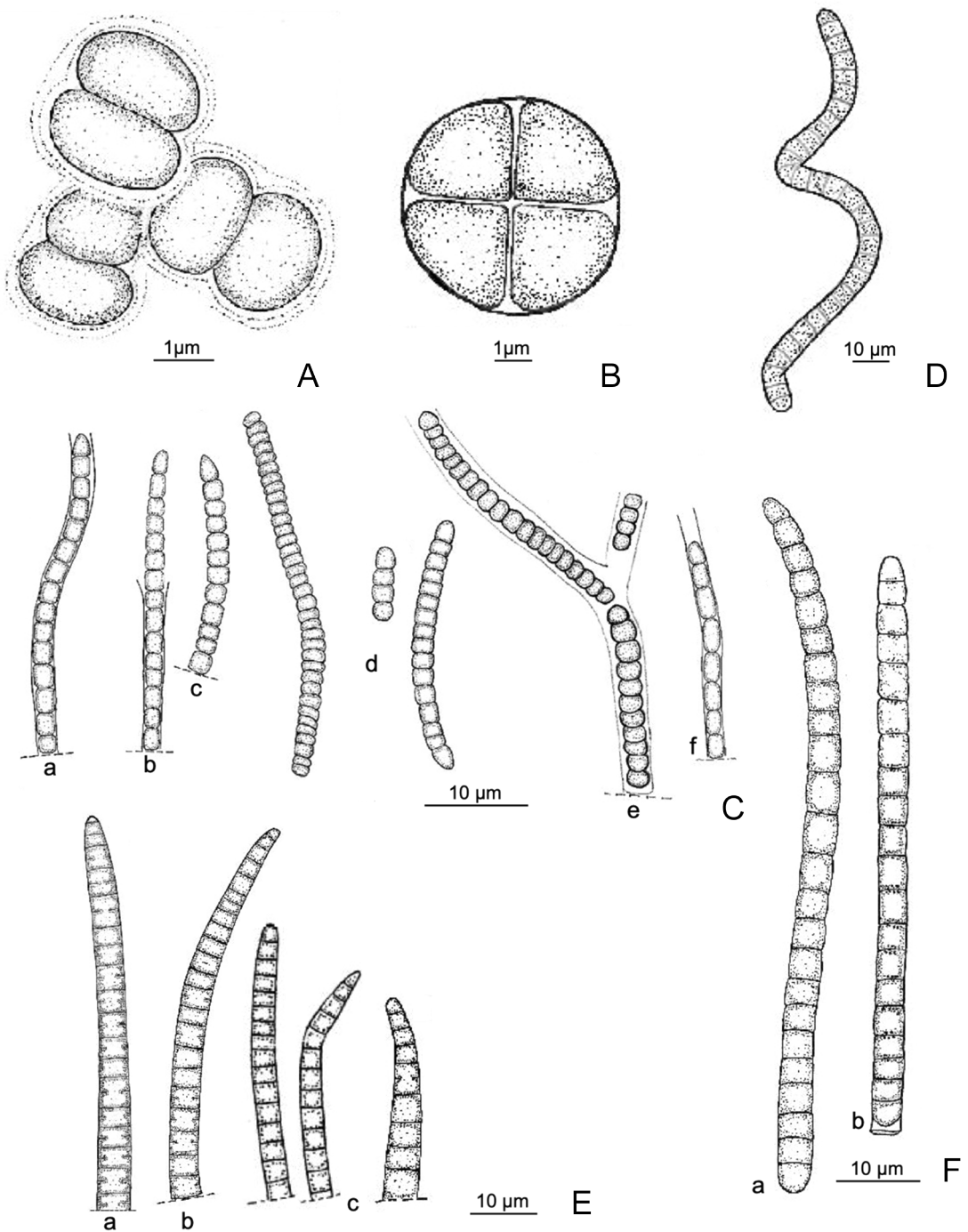


Fig. 2. A, *Chroococcus membraninus*, colonia en formación. B, *Chroococcidiopsis thermalis*, baeocitos. C, *Leptolyngbia boryana*; a-f, diferentes morfotipos, a, b, f, tricomas con células alargadas y vaina presente, células apicales cónico-redondeadas, c, e, tricomas de células cortas o isodiamétricas, d, hormogonios de diferente longitud, e, ramificación falsa simple. D, *Spirulina gracilis*, aspecto de un tricoma con tabiques transversales poco evidentes. E, *Kamptonema animale*; a, tricoma recto, b, c, tricomas curvados con diferentes células apicales, c, tricomas con células en división. F, *Kamptonema formosum*; a, tricoma ligeramente curvado, b, tricoma recto. Ilustraciones elaboradas por Ximena Flores Melo.

Observaciones. *Leptolyngbya boryana* es la especie tipo del género y los trabajos de revisión de la familia Leptolyngbyaceae se han visto facilitados por la disponibilidad de datos moleculares de todos sus géneros, haciendo de ésta una de familias mejor resueltas taxonómicamente en las cianobacterias (Mai et al., 2018). En el material estudiado se encontró variabilidad en la morfología y en las dimensiones celulares, lo cual concuerda con las figuras de diferentes autores indicadas en Komárek & Anagnostidis (2005: fig. 230 a-d).

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Laguna de las Algas, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5481); Manantial Agua Ferruginosa, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5487); Estanque al lado de la Laguna Verde, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5490).

Orden Spirulinales

Familia Spirulinaceae

Spirulina gracilis Gruia, Starmach, Flora Slodkow. Polsky 2: 764, fig. 1105, 1961. Fig. 2D.

Tricomas verde-azul claro, solitarios, 24-28 (-32) µm de largo, 1,6 µm de ancho, sin vainas, no constrictos a nivel de las paredes transversales, extremos no atenuados, muy móviles, con movimiento en sentido horario. Espiras 1 a 3, laxas, regulares, (5,7-) 7,3 (-8) µm de diám., distancia entre las espiras (9,7-) 12-16 µm. Células ligeramente cortas o isodiamétricas, de 1,3-1,6 µm de largo. Contenido celular con gránulos finos o gruesos. Célula apical redondeada.

Distribución y hábitat. *Spirulina gracilis* fue registrada en Europa (Rumania), Sudeste de Asia, (Irán, Israel, Pakistán y Manghopir), América del Norte (Arkansas), Australia (Queensland), Nueva Zelanda.

En el ambiente termal de Copahue, *S. gracilis* es subaerófila y forma parte del metafiton, además es frecuente en matas algales junto con *Chroococcidiopsis thermalis*, *Mastigocladus laminosus*, *Oscillatoria subbrevis*, *Phormidium thermobium* y entre *Parachlorella kessleri*. *Spirulina gracilis* es nueva cita para la Argentina y para ambientes termales.

llatoria subbrevis, *Phormidium thermobium* y entre *Parachlorella kessleri*. *Spirulina gracilis* es nueva cita para la Argentina y para ambientes termales.

Observaciones. Esta especie constituye un taxón aceptado en AlgaeBase. Komárek & Anagnostidis (2005) incluyen a *S. gracilis* y a otras especies del género *Spirulina* en el género *Glaucospira*, bajo el título de “Unrevised taxa” indicando que es necesaria una revisión de todo el taxón. La ausencia de estudios taxonómicos y de datos moleculares de éste género no permiten aclarar su validez y posición filogenética (Komárek et al., 2014; Komárek, 2015).

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, canal de salida de Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5483); ibid., Laguna de las Algas, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5481).

Orden Oscillatoriales

Familia Microcoleaceae

Kamptomena animale (C. Agardh ex Gomont) Strunecký, Komárek & J. Smarda, Preslia 86: 203. 2014. *Oscillatoria animalis* C. Agardh ex Gomont, Annales des Sciences Naturelles, Botanique, Série 7, 16: 227. 1892. *Phormidium animale* (C. Agardh. ex Gomont) Anagnostidis & Komárek, Arch. Hydrobiol. Suppl. 80: 398, 1988. Fig. 2E.

Talo verde azulado claro, delgado, laminar o membranoso. Tricomas solitarios, largos, rectos o flexuosos y entrelazados, ligeramente afinados y curvados en los extremos, no constrictos a nivel de las paredes transversales, con movimientos de rotación y oscilación. Con o sin vainas delgadas hasta difluentes. Células isodiamétricas o más cortas que anchas, 2-4 µm de ancho y (1-) 2,5-3,3 (-4) µm de largo. Contenido celular homogéneo o finamente granuloso. Célula apical redondeada o cónica-redondeada, corta, ligeramente afinada, sin caliptra y sin engrosamiento de la pared celular.

Distribución y hábitat. *Kamptonema animale* está ampliamente distribuida y fue registrada en Europa (Rumania, España), América del Norte, Asia (China, Israel), Australia y Nueva Zelanda (Anagnostidis & Komárek, 2005). Citada, bajo el nombre *Oscillatoria animalis*, su ambiente principal son suelos húmedos, charcos, aguas estancadas. Además, se encontró en aguas termales de Alemania (Bohemia, Carlsbad) y U.S.A. (Parque Nacional Yellowstone) (Gomont, 1892; Copeland, 1936). En la Argentina fue citada como *Oscillatoria animalis* para Jujuy, Salta, Córdoba y Santa Cruz (Tell, 1985).

En ambientes termales de Copahue habita sobre rocas o sobre restos vegetales pequeños, formando biodermas o matas membranosas, delgadas, con *Mastigocladus laminosus*. Además, se encontraron tricomas solitarios o entre *Parachlorella kessleri*, *Phormidium tergestinum* y *Oscillatoria subbrevis*.

Observaciones. En el material estudiado las células pueden contener gránulos grandes, posiblemente de cianoficina, lo que hace muy difícil la observación de los tabiques transversales. Strunecký et al. (2014) citaron a la especie para ambientes termales y manantiales sulfurosos de zonas templadas y tropicales. La especie proveniente de las matas de cianobacterias de la Laguna de las Algas fue aislada y cultivada en medio BG-11.

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5482); Laguna El Chanco, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5484).

Kamptonema formosum (Bory ex Gomont) Strunecký, Komárek & J. Smarda, Preslia 86: 204. 2014. *Oscillatoria formosa* Bory ex Gomont, Ann. Sci. Nat. VII, Bot. 16: 230. 1892. *Phormidium formosum* (Bory ex Gomont) Anagnostidis & Komárek, Arch. Hydrobiol. Suppl. 80: 405, 1988. Fig. 2F.

Filamentos azul-verde claro u oscuro. Tricomas largos, rectos o muy ligeramente flexuosos, constrictos a nivel de las paredes transversales, con los extremos muy poco afinados, móviles, con oscilación y rotación según las agujas del reloj. Vainas muy finas, casi siempre ausentes. Células isodiamétricas o más cortas que anchas, 3-4 (-5) μm de ancho y de 2-4 μm de largo. Contenido celular homogéneo. Célula apical cónica redondeada o cónica obtusa, sin caliptra y sin engrosamiento apical.

Distribución y hábitat. *Kamptonema formosum*, fue encontrada en Europa (Inglaterra, Suecia, Rumania, España, República Checa y Alemania), Asia (Pakistán, Israel, India, Turquía, Corea, Singapur), Australia, Nueva Zelanda, América del Norte (Arkansas), Central (Cuba, Hawaii) (Geitler, 1932; Copeland, 1936). En la Argentina ha sido citada para Jujuy, Buenos Aires y Tierra del Fuego bajo el nombre de *Oscillatoria formosa*. En esta última provincia fue encontrada en cuerpos de agua con un pH de 5,5 (Tell, 1985; Guarrera & Echenique, 1998). Geitler (1932) y Copeland (1936) indican que se encontró en baños de azufre y aguas termales. *Kamptonema formosum* puede encontrarse en el plancton, perifiton y bentos de varios tipos de ambientes (lagos, piletones, aguas estancadas, aguas residuales o contaminadas, además de aguas dulces, salobres y saladas) (Komárek & Anagnostidis, 2005). Podemos señalar que en el ambiente termal estudiado se encontró integrando matas algales o como filamentos agregados y entrelazados entre sí o entre otras cianobacterias.

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Laguna de las Algas, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5481); Laguna El Chanco, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5484); Manantial Agua Sulfurosa, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5489).

Familia Oscillatoriaceae

Oscillatoria subbrevis Schmidle, Pl. Schizophyceae, Conjugatae, Chlorophyceae IV: 243. 1901. Fig. 3A.

Tricomas verde azulado oscuro, solitarios, no constrictos a nivel de las paredes transversales, rectos o muy ligeramente curvados y no afinados hacia los extremos. Células más anchas que largas, 5 µm de ancho y (0,8-) 1,6-2,4 (-3,2) µm de largo. Contenido celular homogéneo. Célula apical muy corta, redondeada, sin caliptra.

Distribución y hábitat. Europa (Grecia, Hungría), África (Tanganica), Asia (India), Nueva Zelanda y América del Sur (Argentina, Brasil) (Komárek & Anagnostidis, 2005). En Argentina se ha registrado en el fitoplancton y biodermas algales de Chaco y Formosa (Halperin, 1976). Además, en lagunas, afluentes, pantanos, charcos temporarios y bordes de piletones, en las provincias de Buenos Aires (Boltovskoy et al., 1990), La Pampa (Álvarez & Bazán, 1994) y Tierra del Fuego (Guarrera y Echenique, 1998; Tell, 1985).

Según Komárek & Anagnostidis (2005) *O. subbrevis* originalmente fue conocida en fuentes termales y también en diferentes biotopos terrestres y de agua dulce. El hábitat de esta especie, en los ambientes termales de Copahue, es limícola y se presenta en pequeños agregados entre otras cianobacterias o tricomas solitarios entre los sedimentos o entre otras algas.

Observaciones. Las características observadas en los ejemplares de Copahue concuerdan con las señaladas por Claus (1961: fig. 877), con las de Komárek & Anagnostidis (2005: fig. 588) y con la descripción y figura de Halperin (1976: 9, lam. 4, fig. 7).

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5482); canal de salida de Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5483); Laguna El Chancho, 16-II-2012,

M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n. (BCRU 5484); Manantial Agua del Mate, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5488).

Phormidium tergestinum (Kütz. ex Gomont) Anagnostidis & Komárek, Arch. Hydrobiol., Suppl. 80: 406. 1988. *Oscillatoria tergestina* Kütz., Alg. Ach. Aq. Dulc. Germ. 13: 123. 1836. Fig. 3B.

Talos verde-azul oscuro, lisos, delgados o mucilaginosos. Vainas por lo general austentes. Tricomas de longitud variable, rectos, constrictos a nivel de las paredes transversales, a veces ligeramente curvados en el extremo, con movimientos de oscilación. Células cortas, (4-) 6-9 µm de ancho y (2,4-) 3,2-5,6 (-6,5) µm de largo. Contenido celular homogéneo y finamente granuloso. Célula apical redondeada, hemisférica, no capitada y sin caliptra.

Distribución y hábitat. Esta especie tiene posiblemente distribución mundial, a excepción de las regiones polares (Anagnostidis & Komárek, 2005). Fue citada para ambientes termales de Europa (Rumania, Suecia), Sur de Asia, (India-fuentes termales de Vajreswary, cerca Bombay-, Israel), América del Norte (Groenlandia, Este de América del Norte), Islas caribeñas (Cuba), América del Sur (Brasil, Argentina), Australia y Nueva Zelanda (Tilden, 1910). En la Argentina en las provincias de Buenos Aires, Jujuy y de la Patagonia (Tell, 1985, Mirande & Tracanna, 2007) citada como *Oscillatoria tenuis* var. *tergestina* Rabenhorst ex Gomont. Wenzel & Halperin (1991) citan la especie como *Phormidium tenue* (Agardh) Gomont en ambientes termales del Domuyo, Neuquén, Argentina.

En Copahue se encuentra epífita, entre otras algas y musgos (*Ulothrix* sp., *Euglena mutabilis* F. Schmitz) y limícola o en matas algales con *Mastigocladus laminosus* y otras cianobacterias.

Observaciones. Los ejemplares coleccionados en este ambiente termal concuerdan con las características morfológicas de los tricomas muy constrictos y la célula apical hemisférica sin la pared externa engrosada (Komárek & Anagnostidis 2005: fig. 662 i-f).

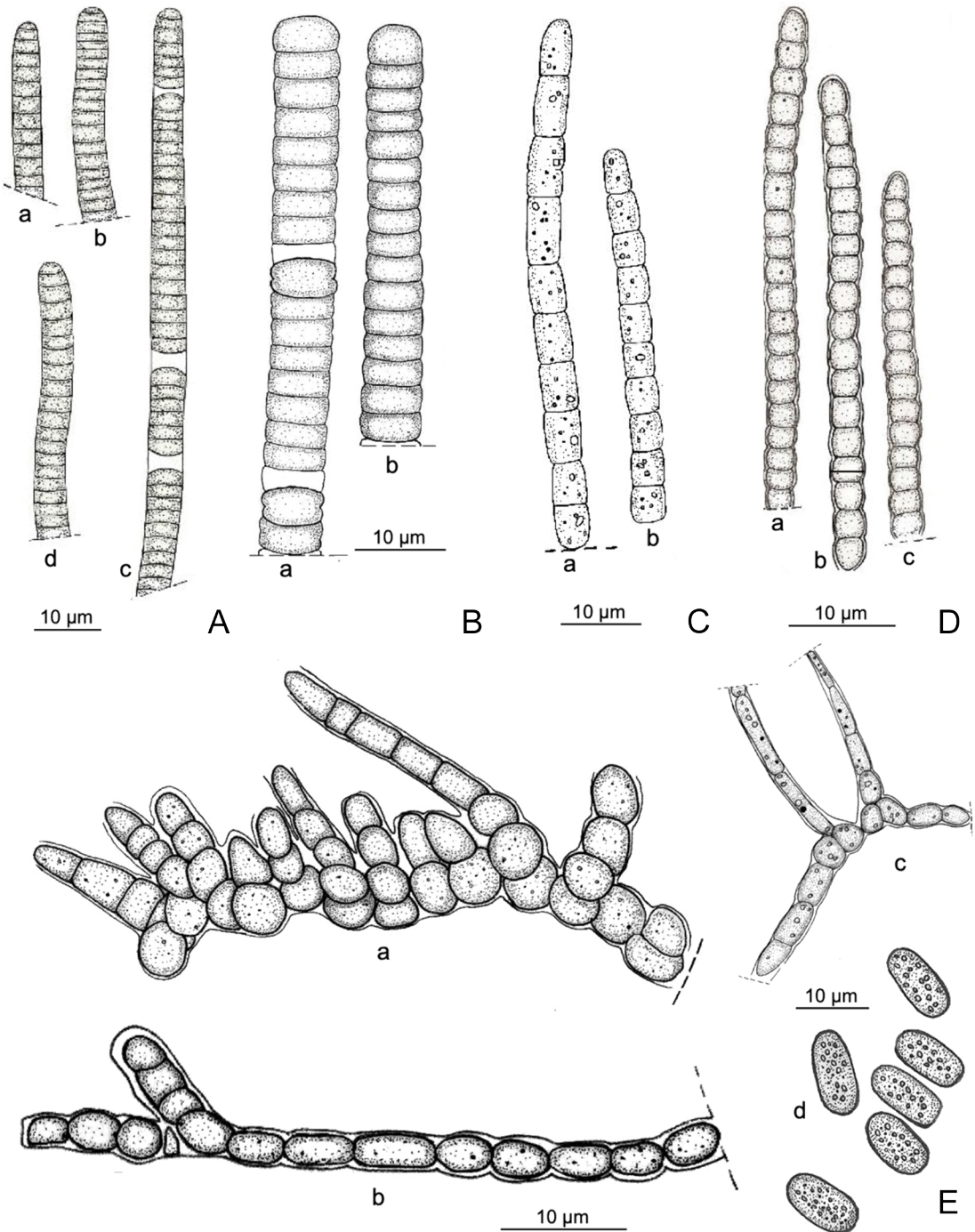


Fig. 3. A, *Oscillatoria subbrevis*; a, b, d, tricomas no constrictos con células vegetativas cortas y célula apical muy corta, c, formación de hormogonios. B, *Phormidium tergestinum*; a, tricoma con necridios y hormogonios diferenciados, b, tricoma muy constricto con células cortas. C, *Phormidium thermobium*; a, tricomas con células más largas que anchas, b, tricomas con células isodiamétricas. D, *Komvophoron josis*; a, b, tricomas con célula apical redondeada, c, tricoma con célula apical cónica, b, tricoma corto completo. E, *Mastigocladus laminosus*; a, aspecto del talo con numerosas ramificaciones, b, ramificación falsa simple, c, ramificación falsa geminada, d, acinetas. Ilustraciones elaboradas por Ximena Flores Melo.

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén**. Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Laguna de las Algas, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5481); Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5482); canal de salida de Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5483).

Phormidium thermobium Anagnostidis, Preslia 73: 371. 2001. Fig. 3C.

Talos verde azulado claro o grisáceo, delgados y membranosos. Filamentos largos, rectos o ligeramente flexuosos, más o menos entrelazados. Tricomas verde azulado, constrictos a nivel de las paredes transversales, no afinados hacia los extremos. Vainas firmes y delgadas o mucilaginosas y difluentes. Células isodiamétricas o más largas que anchas, (3-) 4-5 µm de ancho, 4-5 (7) µm de largo, con granulaciones cercanas o no a los tabiques transversales. Célula apical frecuentemente alargada, redondeada o ligeramente afinada, sin caliptra.

Distribución y hábitat. Encontrada en fuentes termales de Europa (Grecia, Islandia), Indonesia (Java y Sumatra), como limícola o formando matas algales. La presente es la primera cita de la especie para la Argentina y para ambientes termales.

Observaciones. El material observado en este estudio presenta tricomas con vainas difluentes, un contenido celular variable, entre homogéneo o finamente granuloso y con granulaciones cercanas o no a los tabiques transversales. Si bien las células apicales de esta especie han sido descritas generalmente como alargadas (Komárek & Anagnostidis, 2005), en el material proveniente de Copahue se observaron diferentes tamaños y formas.

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén**. Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Laguna de las Algas, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.*

(BCRU 5481); Estanque al lado de la Laguna Verde, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5490); Laguna Los Callos, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5485).

Familia Gomontiellaceae

Komvophoron jovis (Copeland) Anagnostidis & Komárek, Arch. Hydrobiol. Suppl. 80: 373. 1988. *Oscillatoria jovis* Copeland, Ann. N. Y. Acad. Sci.: 159, Fig. 57, 1936. Fig. 3D.

Tricomas verde azulado, solitarios o reunidos y aglutinados en pequeños grupos, generalmente rectos, a veces flexuosos, muy constrictos a nivel de las paredes transversales, no afinados hacia los extremos. Células moniliformes o con forma de tonel, cortas, isodiamétricas o algo más largas, 2,4-4 µm de ancho y 2,4-5 µm de largo. Contenido celular homogéneo, con granulaciones finas, a veces cromatoplasma diferenciado del centroplasma, sin aerótopos. Célula apical cónica o redondeada. Reproducción por hormogonios.

Distribución y hábitat. Distribuida en ambientes termales de Europa (Grecia, Macedonia), Estados Unidos (Parque Yellowstone) y Asia (Japón). Se desarrolla como limícola, en el metafiton o en biodermas algales, en surgentes termales alcalinas y ácidas (pH 5,6-9, óptimo 7,5) y en rangos de temperatura variables (31 °C-71 °C, óptimo 50 °C) (Komárek & Anagnostidis, 2005). En el material estudiado en este trabajo se han encontrado entre otras cianobacterias: *Mastigocladus laminosus*, *Kamptomena formosum*, *Phormidium thermobium*, *Spirulina gracilis* y limícola junto con diatomeas. La presente es la primera cita de la especie para la Argentina.

Observaciones. *Komvophoron jovis* se diferencia de los morfotipos "oscilarioides" de *Mastigocladus laminosus* por el tipo de crecimiento gregario de sus tricomas, los cuales son cortos y carecen de heterocitos. Los ejemplares estudiados difieren ligeramente en las dimensiones celulares: 3,4-4,5 µm de ancho y 3-6 µm de largo, registradas por Komárek & Anagnostidis (2005).

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Laguna de las Algas, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5481); Laguna Sulfurosa, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5489).

Orden Nostocales**Familia Hapalosiphonaceae**

Mastigocladus laminosus Cohn ex Kirchner, In: Engler & Prantl, Nat. Pflanzenfam. 1 (1a): 81. 1898. Fig. 3F.

Talos azul-verde oscuro, brillantes, en láminas delgadas o gruesas, de consistencia firme o esponjosa, a veces mucilaginosos en la superficie. Filamentos rectos o flexuosos, torulosos en las partes viejas, muy entrelazados unos con otros, de dimensiones variables y afinándose hacia los extremos. Tricomas uniseriados, constrictos, hasta 4 µm de ancho. Vainas delgadas e hialinas. Células vegetativas esféricas, cúbicas, cilíndricas y muy largas. Célula apical cónica redondeada, generalmente muy alargada. Ramificaciones laterales verdaderas, en "V" o "Y" invertida, falsas simples o geminadas. Heterocitos terminales e intercalares, esféricos, cúbicos hasta cilíndricos. Reproducción por hormogonios y acinetas en las partes viejas del tricoma. Acinetas cilíndricas redondeadas, 4 (-5) µm de ancho y 10 µm de largo.

Distribución y hábitat. *Mastigocladus laminosus* es una especie termófila cosmopolita, encontrada en Europa (Inglaterra, Rumania, Eslovaquia), América del Norte (Arkansas), Sudoeste de Asia (Israel), Australia y Nueva Zelanda (Day et al., 1995; Vinogradova et al., 2000; Phillips, 2002; Caraus, 2002, 2012; Whitton et al., 2003; Kastovský & Johansen, 2008; Bostock & Holland, 2010; Smith, 2010; Broady & Merican, 2012). En la Argentina ha sido citada en ambientes termales de Neuquén, en la región del volcán Domuyo en el Arroyo Aguas Calientes de aguas cloruradas sódicas y pH neutro (Wenzel & Halperin, 1991).

En Copahue, *M. laminosus* forma láminas y biodermas sobre rocas o matas algales flotando en la superficie del agua.

Observaciones. *Mastigocladus laminosus* se encuentra en surgentes termales alrededor del mundo (incluida la Antártida) (Komárek & Anagnostidis, 2005). Los cambios recientes en la taxonomía de Cyanobacteria, basados en estudios moleculares en combinación con los caracteres fenotípicos y ecológicos, han implicado la reubicación del género *Mastigocladus* en la familia Hapalosiphonaceae dentro del orden Nostocales (Komárek, 2010). Por las observaciones microscópicas del material de Copahue: el hidratado, el fijado y el de los cultivos unialgales, se ha corroborado la presencia de acinetas. Wenzel & Halperin (1991: 31, fig. 24 L y M) describen e ilustran las acinetas esféricas u ovales de 7-8 (-10) de diám. y 10-15 µm de longitud dispuestas en series o sueltas, en filamentos postrados y en cultivos unialgales viejos (Wenzel & Halperin, 1991). Cabe destacar que la presencia de estas estructuras se encuentra en la descripción de *AlgaeBase* y en Wehr & Sheath (2003), entre otros. En el trabajo de Kaštovský & Johansen (2008), donde se ilustra el ciclo de vida de *M. laminosus*, se observan las acinetas germinando, éstas, al romper su pared, originan un pequeño hormogonio.

Material representativo examinado

ARGENTINA. **Neuquén.** Depto. Ñorquin, Parque Provincial Copahue, Complejo Termal Copahue, Laguna de las Algas, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5481); Manantial Agua Sulfurosa, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5489); Manantial Agua Ferruginosa, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5487); Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5482); canal de salida de Agua de Copahue o Vichy, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5483); Laguna El Chanco, 16-II-2012, *M.T. Wenzel, M.M. Diaz, S. Schultz & X. Flores Melo s.n.* (BCRU 5484).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el Complejo Termal Copahue se utilizan las aguas (crenoterapia), fangos o peloides (fangoterapia) y microalgas (ficoterapia) con fines curativos y medicinales (Monasterio, 2012). Los trabajos de aislamiento de los componentes activos permitieron relacionar la utilización de las aguas, fangos, microalgas y matas algales con los efectos antimicrobianos, antiinflamatorios y estimulantes de la cicatrización con la posibilidad de su aplicación en pacientes con dolencias o patologías dermatológicas (Accorinti, 1995; Accorinti & Wenzel, 1991; Accorinti et al., 1991, 2005, 2006; Squadrone et al., 1991; Wenzel & Halperin, 1991; Juárez & Vélez, 1993; Juárez & Accorinti, 1995).

Como aporte al uso de las microalgas y cianobacterias de Copahue, nuestro objetivo fue identificar las especies de cianobacterias presentes en las muestras que se utilizan con fines curativos actualmente en el Complejo Termal. En los diez sitios muestreados en este complejo, se encontraron 11 especies de Cyanobacteria, pertenecientes a nueve géneros; cinco de las cuales no habían sido citadas anteriormente para la Argentina: *Chroococcus membraninus*, *Chroococciopsis thermalis*, *Spirulina gracilis*, *Phormidium thermobium* y *Komvophoron jovis*. Otras fueron registradas por primera vez para ambientes termales: *K. animale*, *K. formosum* y *O. subbrevis*. Las especies cosmopolitas: *Leptolyngbya boryana*, *P. tergestinum* y *Mastigocladus laminosus* se describen e ilustran, con las correspondientes observaciones y hábitats. Como parte del estudio se aislaron y se mantuvieron en cultivo unialgal cuatro especies: *Chroococcus membraninus*, *Chroococciopsis thermalis*, *Kamptomonema animale* y *Mastigocladus laminosus*. Las cianobacterias de Copahue, en su mayoría, forman matas multi-específicas integradas por *C. membraninus*, *C. thermalis*, *S. gracilis*, *P. thermobium*, *K. jovis* y *M. laminosus*.

M. laminosus resultó ser la especie encontrada con mayor frecuencia el área, ya que se la encontró en ocho de los diez sitios, creciendo a pH de entre 3,4 y 6,1; conductividad entre 283

y 2152 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y temperatura del agua entre 22,6 y 60,4°C. *M. laminosus* y *Phormidium tergestinum* ya fueron descritas e ilustradas para ambientes termales de Domuyo, en el Arroyo Aguas Calientes, que tiene aguas cloruradas sódica de pH neutro a ligeramente alcalino y temperaturas de 35-45 hasta 60°C (Wenzel & Halperin, 1991 y Accorinti & Wenzel, 1991).

La Laguna Los Callos fue el sitio con mayor diversidad donde se registró el mayor número de especies, ocho en total. Mientras que, en los sitios Laguna de las Algas y Estanque Laguna Verde se registraron seis. De las cianobacterias identificadas, cinco crecen en los “plastrones algales” (Monasterio, 2012) que se extraen de la Laguna de Las Algas, para realizar los tratamientos estéticos y dermatológicos: psoriasis, dermatitis, úlceras, eccemas (Ubogui & Ficosecco, 1990; Ubogui et al., 2007). En el agua y en los fangos o peloides de la laguna El Chanco, usados en fangoterapia, habitan *Komvophoron jovis* y la rodofita unicelular *Cyanidium caldarium* (Flores Melo, 2014). En los manantiales Agua de Vichy o de Copahue, Agua del Mate, Agua Ferruginosa y Agua Sulfurosa empleados para el tratamiento de trastornos digestivos, hepáticos y urinarios (Monasterio, 2012) se encontraron nueve de las once especies registradas para el área. Todas las especies de cianobacterias estudiadas en el presente trabajo son utilizadas, ya sea mediante la aplicación directa de las matas o por la utilización de sus componentes activos presentes en las aguas y en los fangos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Sabina Schulz por su colaboración durante el muestreo, a Guillermo Vélez por las fructíferas discusiones y ayuda durante la identificación de las especies, a Ana Monasterio por otorgar la autorización para la toma de muestras en el Complejo Termal Copahue y a Gustavo Baffico por su ayuda y gentileza en aspectos técnicos del manuscrito. Agradecemos también a los dos revisores que ayudaron a mejorar este manuscrito con sus sugerencias y correcciones. Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto Foncyt Pict 2008-1105.

BIBLIOGRAFÍA

- Accorinti, J. 1995. Estudio de principios bioactivos de algas y peloides y aguas termales volcánicas del Domuyo y del Copahue. *Dominguezia* 12 (1): 7-15.
- Accorinti, J. & M. T. Wenzel. 1991. Valoraciones biológicas de algas termales de Argentina. I. Propiedades antibacterianas y antifúngicas de algas termales del Domuyo (Pcia. del Neuquén, Argentina). *Dominguezia* 9 (1): 40-48.
- Accorinti, J.; M. Squadrone, M. T. Wenzel & A. Pérez. 1991. Valoración de las propiedades antimicrobianas del agua del Volcán Copahue (Neuquén, Argentina). *Archivo Argentino de Dermatología* 41: 229-237.
- Accorinti, J. & M. T. Wenzel. 1995. Ensayos Biológicos con Algas Termales de Argentina. Promotores potenciales de crecimiento celular en algas del Domuyo (Provincia de Neuquén, República Argentina). *Dominguezia* 12 (1): 16-23.
- Accorinti, J.; Wenzel, M. T. & N. H. Ficosecco. 2005. Análisis complementarios de nucleósidos-nucleótidos en algas termales del Domuyo (Provincia de Neuquén, Argentina). *Dominguezia* 21 (1): 5-9.
- Accorinti, J.; Wenzel M. T. & N. H. Ficosecco. 2006. Análisis complementarios de derivados indólicos (fitohormonas) en algas termales del Domuyo (Provincia de Neuquén, República Argentina). *Dominguezia* 22 (1) 35-38.
- Anagnostidis, K. & J. Komárek. 1985. Modern approach to the classification systems of Cyanophytes 1: Introduction. *Archiv für Hydrobiologie Suppl* 71, 1-2 *Algological Studies* 38/39: 291-302.
- Anagnostidis, K. & J. Komárek. 1988. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 3: Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie Suppl* 80, 1-4 *Algological Studies* 50-53: 327-472.
- Álvarez, S. B. & G. Bazán. 1994. Cianofíceas continentales de la provincia de la Pampa (Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa* Vol. 7 (2): 43-62.
- Boltovskoy, A.; A. Dippolito, M. Foggetta, N. Gómez & G. Álvarez. 1990. La laguna Lobos y su afluente: limnología descriptiva, con especial referencia al plancton. *Biología Acuática* 14: 1-38.
- Bostock, P. D. & A. E. Holland. 2010. Census of the Queensland Flora. Australia, Brisbane: Queensland Herbarium Biodiversity and Ecosystem Sciences, *Department of Environment and Resource Management*.
- Broady, P. A. & F. Merican. 2012. Phylum Cyanobacteria: blue-green bacteria, blue-green algae, en D.P. Gordon (ed.), *Kingdoms Bacteria, Protozoa, Chromista, Plantae, Fungi. New Zealand inventory of biodiversity* 3: 50-69.
- Brock, T. D. 1985. Life at high temperatures. *Science* 230: 132-138.
- Caraus, I. 2002. The algae of Romania. *Studii si Cercetari, Universitatea Bacau, Biologie* 7: 1-694.
- Caraus, I. 2012. *Algae of Romania. A distributional checklist of actual algae*. Version 2.3 third revision. Bacau: University of Bacau.
- Castenholz, R. & W. Wickstrom. 1975. Thermal streams, en B. A. Whitton (ed.) *River ecology*, pp: 294-285. Oxford: Blackwell Science.
- Claus, G. 1961. Contributions to the Knowledge of the Blue-Green Algae of the Salzlackengebiet in Austria. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 46: 514-541.
- Copeland, J. J. 1936. Yellowstone Thermal Myxophyceae. *Annals of the New York Academy of Sciences* Vol. XXXVI: 1-232.
- Day, S. A.; R. P. Wickham, T. J. Entwistle & P. A. Tyler. 1995. Bibliographic check-list of non-marine algae in Australia. *Flora of Australia Supplementary Series* 4: i-vii, 1-276.
- De Michele, D.; M. Giacomino, C. M. Schell, M. M. De Lucca, S. Grenóvero, A. Belderrain & J. A. Basualdo. 2007. Acción inhibitoria de la fase líquida del fango del volcán Copahue, Neuquén, Argentina sobre la microbiota de piel, fosas nasales, intestinales y vaginal. *Anales de Hidrología Médica* 2: 85-93.
- Desikachary, T. V. 1959. *Cyanophyta*. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research.
- Ficosecco, N. H. 2006. *Hidroterapia y termalismo, como ciencias aplicadas a la salud*. Rosario: Borsellino Impresos.
- Flores Melo, X. 2014. *Ecofisiología de las algas acidotermófilas del Complejo Termal Copahue*. Neuquén, Argentina. Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahe.
- Geitler, L. 1932. Cyanophyceae, en L. Rabenhorst (ed.), *Kryptogamen-Flora* 14, pp. 1-1196. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H.
- Gomont, M. 1892. Monographie des Oscillariées (Nostocacées Homocystées). *Annales des Sciences Naturelles, Botanique*, Série 7 15: 263-368.
- González Reyes, A. 2000. *Alternativas en el cultivo de microalgas*. Tesis de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar Guayaquil.
- González, M. A.; O. O. Parra & A. S. Cifuentes. 1995. Métodos para el cultivo de microalgas de ambientes hipersalinos, en: K. Alveal; M. E. Ferrario, S. Oliveira y E. Sar. (eds.), *Manual de métodos ficológicos*, pp. 219-239. Concepción: Universidad de Concepción.

- Guarrera, S. & R. Echenique, 1998. Cyanophyta: Hormogonophycideae. *Flora Criptogámica de Tierra del Fuego, CONICET*. Tomo 1. Fascículo 2. Buenos Aires. Argentina.
- Guarrera, S. A.; M. A. Casco, R. O. Echenique & H. A. Labollita. 1987. Las algas del sistema del Río Limay (R. Argentina) I. Cyanophyta Chroococcales y Chamaesiphonales. *Revista del Museo La Plata*, Secc. Bot. 14: 163-189.
- Halperin, D. R. 1976. Cianofíceas de biodermas algales provenientes de las Provincias de Chaco y Formosa (Argentina). *Physis* Secc. C. 35: 1-16. Contrib. N° 90 CIBIMA.
- Hašler, P.; P. Dvořák, J. Johansen, M. Kitner, V. Ondřej & A. Pouličková. 2012. Morphological and molecular study of epipelic filamentous genera *Phormidium*, *Microcloeus* and *Geitlerinema* (Oscillatoriales, Cyanophyta/Cyanobacteria). *Fottea, Olomouc*, 12 (2): 341-356.
- Juárez, A. B. & C. G. Vélez. 1993. Sobre la presencia de *Chlorella kessleri* (Chlorococcales, Chlorophyta) en aguas del complejo termal Copahue (Prov. de Neuquén, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 29: 105-107.
- Juárez, A. B. & J. Accorinti. 1995. Actividad antimicrobiana de compuestos extracelulares producidos por cultivos axénicos de *Chlorella kessleri* (Chlorococcales, Chlorophyceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 31: 13-18.
- Juárez, A. B.; C. Aldonatti, M. S. Vigna & M. C. Ríos de Molina. 2007. Studies on uroporphyrinogen decarboxylase from *Chlorella kessleri* (Trebouxiphyceae, Chlorophyta). *Canadian Journal of Microbiology* 53: 303-312.
- Juárez, A. B., L. Barsanti, V. Passarelli, V. Evangelista, N. Nicoletta Vesentini, V. Conforti & P. Paolo Gualtieri. 2008. In vivo microspectroscopy monitoring of chromium effects on the photosynthetic and photoreceptive apparatus of *Eudorina unicocca* and *Chlorella kessleri*. *Journal of Environmental Monitoring* 10: 1313-1318.
- Juárez, A. B.; C. G. Vélez, A. Iniguez, D. Martinez, M. C. Rodriguez, M. S. Vigna & M. C. Ríos de Molina. 2011. A *Parachlorella kessleri* (Trebouxiphyceae, Chlorophyta) strain from an extremely acidic geothermal pond in Argentina. *Phycologia* 50: 413-421.
- Kaštovský, J. & J. R. Johansen. 2008. *Mastigocladus laminosus* (Stigonematales, Cyanobacteria): phylogenetic relationship of strains from thermal springs to soil-inhabiting genera of the order and taxonomic implications for the genus. *Phycologia* 47: 307-320.
- Komárek, J. 2010. Recent changes (2008) in cyanobacteria taxonomy based on combination of molecular background with phenotype and ecological consequences (genus and species concept). *Hydrobiologia* 639: 245-259.
- Komárek, J. 2015. Review of the cyanobacterial genera implying planktic species after recent taxonomic revisions according to polyphasic methods: state as of 2014. *Hydrobiologia*: 259-270.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2-Chroococcales. *Archiv für Hydrobiologie Suppl* 73, 2 *Algological Studies* 43: 157-226.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis. 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales, en H. Ettl, G. Gartner, H. Heynig, & D. Mollenhauer (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1, 548 pp. Jena Stuttgart-Lubeck-Ulm: Gustav Fischer.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis. 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil. Oscillatoriales, en: Büdel, B.; Krienitz, L.; G. Gartner & M. Schagerl (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/2, 759 pp. Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Komárek, J.; J. Kaštovský, J. Mareš & J. R. Johansen. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera), using polyphasic approach. *Preslia* 86: 295-335.
- Mai, T.; J. Johansen, N. Pietrasiaik, M. Bohunická & M. P. Martin. 2018. Revision of the Synechococcales (Cyanobacteria) through recognition of four families including Ocutellaceae *fam. nov.* and Trichocoleaceae *fam. nov.* and six new genera containing 14 species. *Phytotaxa* 365 (1): 1-59.
- Mirande, V. & B. C. Tracanna. 2007. Diversidad de cianobacterias, clorofitas y euglenofitas en humedales de altura (Jujuy, Argentina). *Lilloa* 44 (1-2): 39-59.
- Monasterio, A. 2009. *Termas de Copahue. CPH Lugar de baños. Rasgos históricos, geológicos. Beneficios de sus recursos*. Ed. Patagónicas. Senillosa.
- Monasterio, A. 2012. *Caminemos por las termas del Neuquén*. Argentina, Neuquén: Ed. Caleuche.
- Phillips, J. A. 2002. Algae, en R. J. F. Henderson (ed), *Names and distribution of Queensland plants, algae and lichens*, pp. 228-244. Brisbane: Queensland Government Environmental Protection Agency.
- Rippka, R.; J. Deruelles, J. Waterbury, M. Herdman & R. Stanier. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of Cyanobacteria. *Journal of General Microbiology* 111: 1-61.
- Smith, T. E. 2010. Revised list of algae from Arkansas, U.S.A. and new additions. *International Journal on Algae* 12(3): 230-256.
- Squadrone, M. J.; J. Accorinti, M. T. Wenzel & A. I. Pérez. 1991. Valoración de las propiedades antimicrobianas del agua del volcán Copahue (Neuquén, Argentina). *Archivos Argentinos de Dermatología* 41: 229-237.

- Starmach, K. 1966. Cyanophyceae, Sinice-Glaukofity. *Flora Slodkowodna Polski*, 2. Warszawa: Polska Akademia Nauk.
- Strunecký O.; J. Komárek & J. Šmarda. 2014. *Kamptonema* (Microcoleaceae, Cyanobacteria), a new genus derived from the polyphyletic *Phormidium* on the basis of combined molecular and cytomorphological markers. *Preslia* 86: 193-207.
- Tell, G. 1976. Algas del suelo de los alrededores de Buenos Aires (República Argentina). *Darwiniana* 20: 491-548.
- Tell, G. 1985. Catálogo de las Algas de Agua Dulce de la República Argentina. *Bibliotheca Phycologica* 70: 283 pp. Alemania: J. Cramer.
- Tell, G. & C. G. Vélez. 1982. Nuevos aportes al conocimiento de las algas de agua dulce de Tierra del Fuego (Argentina). *Physis* B, 41: 47-54.
- Tilden, J. 1910. Minnesota Algae. I. The Myxophyceae of North America and adjacent regions, including Central America, Greenland, Bermuda, the West Indies and Hawaii. *Geological and Natural History Survey, Botanical Series*. Minneapolis: University of Minnesota.
- Tracanna, B. 1985. Algas del Noroeste Argentino (excluyendo las Diatomophyceae). *Opera Lilloana* 35: 1-134.
- Ubogui, J. & H. Ficosecco. 1990. Úlceras por decúbito e hidroterapia en las Termas de Copahue. *Archivo Argentino Dermatológico* 40: 393-399.
- Ubogui, J.; L. Rodríguez, H. Ficosecco, L. Sevinsky, K. Kien & F. M. Stengel. 1991. Terapéutica no convencional de la Psoriasis en las termas de Copahue (Neuquén Argentina) experiencia preliminar. *Archivo Argentino Dermatológico* 41: 25-39.
- Ubogui, J.; A. Roma, V. Garvier, F. García, G. Magariños, G. Perrotta & A. M. Monasterio. 2007 Seguimiento clínico de pacientes con psoriasis en las Termas de Copahue (Neuquén - Argentina). *Anales Hidrología Médica* 2: 75-84.
- Vinogradova, O. M.; S. P. Wasser & E. Nevo. 2000. Cyanoprocaryota, en Nevo, E. & S. P. Wasser (eds.), *Biodiversity of cyanoprocaryotes, algae and fungi of Israel. Cyanoprocaryotes and algae of continental Israel*, pp. 32-141. Ruggell: A.R.A. Gantner Verlag K.-G.
- Ward, D. M. & R. W. Castenholz. 2000. Cyanobacteria in geothermal habitats en: Whitton B. A., Potts M. (eds.) *The Ecology of Cyanobacteria*. Dordrecht: Springer.
- Wenzel, M. T. & D. R. Halperin. 1991. Sistemática de las Cianoficeas termales del Domuyo. (Neuquén, Argentina). *Dominguezia* 9: 24-39.
- Wehr J. D. & R. G. Sheath. 2003. *Freshwater algae of North America Ecology and classification*. London: Academic Press.
- Whitton, B. A. & M. Potts (eds.). 2000. *The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space*. Dordrecht: Kluwer.
- Whitton, B. A.; D. M. John, M. G. Kelly & E. Y. Haworth. 2003. A coded list of freshwater algae of the British Isles. Second Edition. *World-wide Web electronic publication*.