

Diversidad de cianobacterias en costras biológicas de suelo de la ecorregión del Monte Central (Mendoza, Argentina)

Diversity of cyanobacteria in biological soil crusts of Monte Central ecoregion (Mendoza, Argentina)

D.O.I.: doi.org/10.30550/j.lil/2018.55.2/4

Corvalán Videla, María E.^{1*}; María de los A. Taboada²; Julieta N. Aranibar^{1,3}

¹ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA CONICET) Av. Ruiz Leals/n Parque General San Martín Mendoza, 5500 Argentina.

² Instituto de Ficología, Fundación M. Lillo, Unidad Ejecutora Lillo (UEL-CONICET). Miguel Lillo 251, (T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina.

³ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo. Padre Jorge Contreras 1300. Parque Gral. San Martín. Mendoza M5502JMA Argentina.

* Autor correspondiente: corvalanvidelamae@gmail.com

► **Resumen** — La ecorregión del Monte Central posee un elevado déficit hídrico. La escasez y variabilidad del recurso agua condiciona la distribución espacial de las plantas vasculares. Aquellas zonas desprovistas de vegetación se encuentran comúnmente colonizadas por comunidades microbióticas (musgos, cianobacterias, líquenes) denominadas costras biológicas de suelo (CBS), que modifican numerosas propiedades biogeoquímicas del sustrato. Uno de los constituyentes fundamentales de las CBS son las cianobacterias, que sintetizan clorofila *a*, ficobilinas y fijan nitrógeno (N) atmosférico, representando una de las fuentes principales de N para alguno de los ecosistemas áridos. El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento de las cianobacterias presentes en biocostras del desierto del Monte central, en distintas unidades de paisaje del Este de Mendoza (reservas naturales y áreas pastoreadas). Se realizaron colectas de material biótico y abiótico durante los años 2015 y 2016 en cada unidad ambiental. Para la identificación de las cianobacterias se utilizaron características morfológicas observadas con microscopía óptica, y claves taxonómicas. De esta manera se dan a conocer 12 nuevos registros de cianobacterias en CBS, que permitirán ampliar el conocimiento de las biocostras, su distribución geográfica y ecología en la provincia de Mendoza.

Palabras clave: Cianobacteria; costras biológicas; suelo.

► **Abstract** — The ecoregion of Monte Central has a high water deficit. Scarcity and variability of the water resource determine the spatial distribution of vascular plants. Areas devoid of vegetation are commonly colonized by microbial communities (mosses, cyanobacteria, lichens) called biological soil crusts (BSCs), which modify numerous biogeochemical properties of the substrate. Cyanobacteria are fundamental constituents of BSCs, they synthesize chlorophyll *a*, phycobilins and fix atmospheric nitrogen (N), representing one of the main sources of N for some arid ecosystems. The objective of this work is to contribute to the knowledge of

► Ref. bibliográfica: Corvalán Videla, M. E.; Taboada, M. de los A.; Aranibar, J. N. 2018. Diversidad de cianobacterias en costras biológicas de suelo de la ecorregión del Monte Central (Mendoza, Argentina). Lilloa 55 (2): 30-46.

► Recibido: 13/07/18 – Aceptado: 01/10/18

► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>



► Algunos derechos reservados. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

the cyanobacteria present in BSCs of the Monte Central desert, in different landscape units of eastern Mendoza (natural reserves and grazing lands). Biotic and abiotic material was collected during the years 2015 and 2016 in each environmental unit. For the identification of cyanobacteria, morphological characteristics observed under light microscope, along with taxonomic keys were used. Thus, 12 new records of cyanobacteria are reported in BSCs, improving our knowledge of these biocrusts, their geographical distribution and ecology in the province of Mendoza, Argentina.

Keywords: Cyanobacteria; biological crusts; soil.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas áridos y semiáridos representan el 41% del planeta. En Argentina la ecorregión del Monte Central ocupa 46000 Km², (Cabrera, 1976; Rundel, Villagra, Dillon, Roig Juñent, Debandi, 2007; Villagra *et al.*, 2011; Alonso, Rodríguez-Caballero, Chamizo, Escribano y Cantón, 2014). Las precipitaciones medias oscilan entre 30 y 350 mm anuales, y las temperaturas medias entre 13 y 18 °C (Labraga y Villalba, 2009). Esta región posee un elevado déficit hídrico, concentrándose las precipitaciones en temporada estival (Rundel *et al.*, 2007). La escasez y variabilidad del recurso hídrico cumplen un papel fundamental en la distribución espacial de las especies, estructurando la vegetación como un mosaico compuesto de parches vegetados e interparches de suelo desnudo (Aguir y Sala, 1999). Las zonas desprovistas de vegetación se encuentran en su mayor proporción colonizadas por un conjunto de microorganismos (musgos, cianobacterias, líquenes) denominado costras biológicas del suelo (CBS) o biocostras, que pueden alcanzar hasta un 70 % de la cobertura del suelo en algunos ecosistemas áridos (Belnap y Lange, 2003). Éstas son capaces de sobrevivir a condiciones extremas de aridez, temperatura, pH y salinidad (Karnieli, 1997). El rol de las biocostras en la retención de agua es fundamental en estos ecosistemas, dado que éste es el principal factor limitante. La presencia de CBS afecta la abundancia y funcionamiento de las plantas vasculares, controla la diversidad y el comportamiento de las comunidades microbianas (Castillo-Monroy *et al.*, 2011) y de artrópodos presentes en el suelo. Cuando las CBS colonizan el suelo, modifican nume-

rosas propiedades como la porosidad (Mennon *et al.*, 2011; Miralles-Mellado, Cantón, Solé-Benet, 2011), el contenido en materia orgánica (Chamizo, Cantón, Lázaro, Solé-Benet y Domingo, 2012) y la microtopografía (Belnap, 2006; Belnap, Phillips, Witwicki, Miller, 2008; Kidron, Vonshak, Dor Barinova, Abeliovich, 2010; Rodríguez-Caballero, Cantón, Chamizo, Afana, Solé-Benet, 2012), aumentan la concentración de nutrientes disponibles para las plantas vasculares y en algunos casos facilitan su germinación (DeFalco, Detling, Tracy, Warren, 2001; Boeken, Ariza, Gutterman, Zaady, 2004).

Uno de los constituyentes fundamentales de las CBS son las cianobacterias, un grupo muy diverso de organismos procarióticos, que sintetizan clorofila *a* y ficobilinas, son capaces de realizar algunos procesos de vital importancia como la fotosíntesis oxigénica (Whitton, 1992) y la fijación de nitrógeno (N) atmosférico. Las cianobacterias, tanto las de vida libre como las que se encuentran en simbiosis formando líquenes, representan la principal fuente de N en suelos de algunos ecosistemas áridos. Se ha demostrado en desiertos de China, que el N fijado por cianobacterias es transferido a las plantas vasculares, beneficiando su crecimiento (Li, Chen, Yang, 2004).

Las cianobacterias pueden desarrollarse en forma unicelular, colonial o filamentosa. Éstas presentan una gran distribución ecológica, abarcando desde sistemas acuáticos hasta terrestres, incluyendo ambientes extremos como desiertos áridos, hiperáridos y fuentes termales (Boyer, Johansen, Flechtner, 2002; Norris, Mcdermott, Castenholz, 2002; García-Pichel y Belnap, 1996; García-Pichel, Belnap, Neuer, Schanz, 2003; Steunou *et al.*, 2006). Tienen una gran importancia como

colonizadores de tierras áridas y perturbadas (Point y Belnap, 2012). Algunas especies pueden fijar dióxido de carbono y nitrógeno atmosférico en condiciones aerobias (Mandal, Vlek, Mandal, 1999; Fernández Valiente, Ucha, Quesada, Leganes, Carreres, 2000; Laddha y Reddy, 2003), debido a la presencia de células especializadas llamadas heterocistos, que se encuentran distribuidas regularmente a lo largo de los filamentos, conformando entre un 5 y 10 % del total del individuo (Franco, 2004, Aguilera y Echenique, 2011; Almeida Portero, 2014). Estas células fijan nitrógeno atmosférico a través de la enzima nitrogenasa, reduciéndolo a amoníaco, y aumentando así la biodisponibilidad para su absorción por parte de las plantas (Ghosh, 2002; Aguilera y Echenique, 2011). Las tasas de fijación de N atmosférico están controladas por la humedad, la temperatura y la luz. Entre los géneros fijadores de nitrógeno encontramos individuos heterocísticos como *Anabaena*, *Calothrix*, *Nostoc*, *Schizothrix*, *Scytonema*, *Tolypothrix* y otros géneros no heterocísticos tales como *Lyngbya*, *Microcoleus* y *Oscillatoria*. Algunos de estos géneros producen exopolisacáridos, que fijan las partículas de suelo, haciéndolos resistentes a erosiones eólicas e hídricas (Ghosh, 2002).

La presencia de algas en suelos de ambientes sub-húmedos y semiáridos de Argentina, fue reconocida en 1976 (Halperin, Mule y Caire, 1976). Estas comunidades fueron descritas con el término de biodermas, entendido como «*costras algales de unos pocos milímetros de espesor, que se mantienen compactas al separarlas del substrato, y que no se desintegran al humedecerlas*». Si bien la descripción de las biodermas difiere de la definición actual de costras biológicas del suelo, que incorporan a los organismos inmersos en la matriz de suelo, dicho estudio demuestra la importancia de las algas que habitan en los suelos como fuentes de nitrógeno, y describe las especies que la componen.

En ecosistemas terrestres áridos, particularmente en sudamérica, son escasos los estudios que analizan la composición y diversidad de cianobacterias de las CBS y los factores que la regulan. Análisis en distintos

continentes mencionan la presencia de 320 especies de cianobacterias en biocostras, 80 de estas especies se encontraron en dos o más de los siete continentes (América del Sur, Europa, Asia, África, Antártida, América del Norte, y Oceanía), mientras que el resto estuvieron distribuidas sólo en una región. Europa, el segundo continente de menor tamaño, registra el mayor número de especies, mientras que América del Sur presenta el menor número, con sólo 40 especies reportadas. Estos datos, lejos de reflejar la biogeografía de cianobacterias, señalan el mayor interés científico de grupos especializados en Europa que en Latinoamérica (Weber, Büdel, Belnap, 2016). En el Monte central en particular, las CBS han sido poco estudiadas, enfocándose los estudios en la distribución y ecología de toda la comunidad (Gómez *et al.*, 2012; Tabeni, Garibotti, Pissolito, Aranibar, 2014; García, Aranibar, Pietrasiak, 2015), sin una descripción taxonómica de las distintas especies que la componen, ni de los factores que afectan su distribución.

Esta contribución resulta de relevancia para estudios posteriores de biogeografía, biodiversidad, ecología y taxonomía, en especial para la provincia de Mendoza, que cuenta con escasos antecedentes ficológicos.

En este trabajo se describen e identifican morfológicamente las cianobacterias presentes en biocostras del desierto del Monte central y los ambientes donde se encontraron, en distintas unidades de paisaje del Este de Mendoza, en reservas naturales y áreas pastoreadas. Se presentan los primeros registros de 12 morfoespecies de cianobacterias para esa provincia de la región de Cuyo.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Se muestreó la llanura oriental, o llanura de la Travesía, ubicada en el Este de la provincia de Mendoza (Fig. 1). El paisaje de la zona ha sido influenciado por procesos tectónicos, asociados al levantamiento de la cordillera de los Andes. En esta gran planicie suavemente ondulada, los procesos de agra-

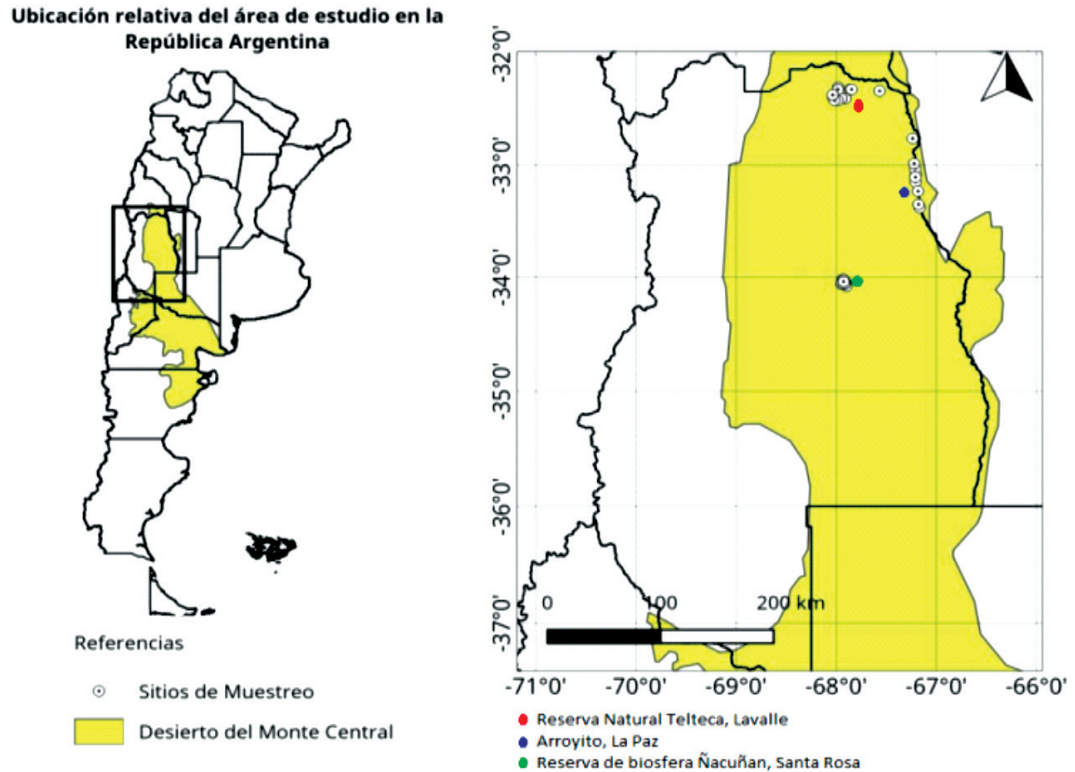


Fig. 1. Mapa de Mendoza con los sitios de estudios y puntos de muestreo.

dación han sido dominantes durante el cenozoico, con prevalencia de las condiciones áridas y semiáridas. Es común la presencia de depósitos lacustres y de playa (referidos geomorfológicamente como «playa lake»), constituidos principalmente por material fino, limos, los cuales representan la parte terminal de los sedimentos finos aportados por los ríos cordilleranos. La característica de ambientes llanos formados por sedimentos detríticos se evidencia en superficie y en profundidad, con presencia de yacimientos evaporíticos en la región. Hidrogeológicamente, es una área de descarga regional, donde el agua proveniente del derretimiento de nieve, es transportada por los ríos y acuíferos y se descarga en los ríos Desaguadero y Salado (Gomez *et al.*, 2014).

El área pertenece a la ecorregión del Monte Central, representado por las Reservas Provinciales Telteca ($32^{\circ}23'27''\text{S}$ y $68^{\circ}01'30''\text{O}$), faja fluvial del Río Desaguadero ($33^{\circ}24'12''\text{S}$ y $67^{\circ}9'20''\text{O}$) y Ñacuñán

($34^{\circ}03'00''\text{S}$ y $67^{\circ}58'00''\text{O}$). En la Reserva Telteca, ubicada en el extremo árido de Mendoza con precipitaciones promedio que no superan los 150 mm anuales, temperaturas de verano de 42°C y mínimas de -10°C , la vegetación está representada por bosques abiertos de *Prosopis flexuosa* y *Geoffroea decorticans*, matorrales de *Bulnesia retama*, *Atriplex lampa*, *Capparis atamisquea*, *Larrea divaricata*, *L. cuneifolia* y un estrato herbáceo de *Leptocloacrinita* y *Aristida mendocina* entre otras (Villagra *et al.*, 2004). En la reserva de Ñacuñán, ubicada en la zona semiárida de Mendoza con precipitaciones promedio de 329 mm anuales y temperaturas de verano de $42,5^{\circ}\text{C}$ y mínima de -13°C , se encuentran bosques abiertos de *Prosopis flexuosa*, estrato arbustivo de *Geoffroea decorticans*, *Capparis atamisquea*, *Lycium sp.*, *Larrea sp.* y un estrato herbáceo de *Pappophorum caespitosum*, *Leptocloacrinita sp.* y *Aristida mendocina* entre otros (Rossi, 2004). La faja fluvial del Desaguadero presenta distintas comunidades

vegetales, asociadas principalmente a la topografía y presencia de médanos y salitrales, incluyendo bosques abiertos de *Prosopis flexuosa*, arbustales de *Larrea*, *Atriplex* y *All-enrolfea vaginata*.

MUESTREO DE SUELOS

Dentro del área de estudio se diferenciaron distintas unidades ambientales, en las que se recolectaron muestras de suelos para su descripción. En la Reserva Telteca, se consideraron dos unidades ambientales: paleocanales, con sedimentos más finos y mayor cobertura de CBS, y llanura eólica, de sedimentos más gruesos, sistemas de dunas, y menores coberturas de CBS (García *et al.*, 2015). En Ñacuñán se muestrearon distintas comunidades vegetales: algarrobal y jarillal (Gómez *et al.*, 2014). En la faja fluvial del Río Desaguadero, se colectó en sitios representativos de los distintos ensambles vegetales encontrados, como algarrobales, jarillales y arbustales halófitos. En cada una de las unidades ambientales se muestrearon 5 sitios, con un total de 30 sitios. En cada sitio se recolectaron muestras de CBS para su identificación taxonómica en los primeros centímetros del suelo, que fueron secadas al aire. Además se tomaron 10 muestras de suelo de 0 a 10 cm de profundidad las que se combinaron en una sola muestra por sitio, para análisis de granulometría, conductividad eléctrica, pH y materia orgánica. Estas muestras fueron secadas en estufa a 60°C.

IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

Una porción de muestras de CBS fue conservada en 10 ml de agua con formaldehído al 4%. Los ejemplares de cianobacterias fueron observados con microscopio marca Zeiss con cámara fotográfica incorporada a un aumento de 1200X. Para las dimensiones se emplearon las abreviaturas: L (Longitud) y l (ancho). La identificación taxonómica se basó principalmente en Desikachary (1959), Prescott (1961), Komárek y Anagnostidis (2005), Tracanna (1985), entre otros, que consideran tanto el tamaño como la existencia y morfología de distintas estructuras (ej.

heterocistos, vainas, tricomas, células terminales) para diferenciar géneros y especies. Para la distribución geográfica en Argentina se consultó a Tell (1985) y publicaciones taxonómicas de autores varios.

ANÁLISIS DE SUELO

El análisis textural se realizó con un set de tamices, para la caracterización del tamaño de partículas de arena según la norma Standard Test Methods for Particle-Size Distribution, Gradation of Soils Using Sieve Analysis (ASTM: Annual Book of Standards, 1993). El contenido de nitrógeno total se estimó con el método de Kjeldhal (Bremner y Mulvaney, 1982), la materia orgánica por calcinación a 430 °C en mufla según método Davies (1974) el fósforo disponible por el método Olsen Bray, y la conductividad eléctrica y pH con un equipo multiparamétrico Thermo, en una solución diluida de suelo (25 g de suelo en 50ml de agua destilada).

RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LOS SUELOS

En la tabla 1 se presentan los datos de las variables fisicoquímicas consideradas.

Los suelos analizados fueron predominantemente arenosos, siendo Ñacuñán el de mayor proporción de arena gruesa (7,21 %), y Arroyito el de más cantidad de arena muy fina (25,6%). Los registros de pH variaron de neutros a ligeramente alcalinos (7,2-7,4). El menor valor de conductividad eléctrica se observó en Ñacuñán con 272 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el mayor en Arroyito, con 2514 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 1).

En Ñacuñán se registró la mayor concentración de nitrógeno y fósforo disponible, con 1163,4 $\mu\text{g}/\text{g}$ y 126,96 $\mu\text{g}/\text{g}$, respectivamente. La menor concentración de N se registró en Telteca, con 605, 8 $\mu\text{g}/\text{g}$, la menor concentración de fósforo se registró en Arroyito, con 79,14 $\mu\text{g}/\text{g}$.

CIANOBACTERIAS IDENTIFICADAS

A continuación se detallan los 12 nuevos registros de cianobacterias con sus valores morfométricos, distribución y características

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los sedimentos.

Sedimentos	Telteca	Arroyito	Ñacuñán
Arena muy gruesa (%)	4,03	6,02	7,39
Arena gruesa (%)	3,77	6,14	7,21
Arena media (%)	9,16	11,47	12,03
Arena fina (%)	37,01	33,04	29,79
Arena muy fina (%)	21,90	25,63	22,68
Limo y Arcilla (%)	24,38	18,29	20,89
pH	7,32	7,24	7,41
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1112,71	2514,85	272,03
Materia orgánica (%)	1,7	3,5	1,4
Nitrógeno (ppm)	605,8	624,5	1163,4
Fosforo disp. ($\mu\text{g}/\text{g}$)	95,65	126,96	79,14

ecológicas previamente reportadas (Tabla 2).

Lyngbya birgei G.M. Smith (Fig. 2A)

Filamentos rectos o curvos, solitarios, de natación libre, vainas firmes, incoloras, tricomas sin constricciones, no atenuados en los extremos, células apicales ampliamente redondeadas.

Dimensiones celulares.— L: 3,5-4 μm ; l: 4-5,5 μm .

Ecología.— En aguas dulces y termales, sobre rocas, sustratos calcáreos. Cosmopolita (Frémy, 1930; Komárek y Anagnostidis, 2005).

Distribución geográfica en Argentina.— Jujuy, Tucumán y Buenos Aires (Mirande y Tracanna, 2003; Taboada, Martínez De Marco y Tracanna, 2016; Tell, 1985; Tracanna, 1985).

Material estudiado. — ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Lavalle, La Paz y Santa Rosa (Arroyito, reserva de Telteca y Ñacuñán), 2015 a 2016, *Corvalán M. E.*: IANIGLA.

Microcoleus vaginatus

Gomont ex Gomont (Fig. 2B)

Filamentos con extremos finos y atenuados, numerosos tricomas dispuestos de manera conjunta dentro de una vaina común. Vaina incolora y homogénea. Tricomas verdeazulados constrictos. Célula apical capitada con una caliptra cónica.

Dimensiones celulares.— L: 3-3,5 μm ; l: 4-5 μm .

Ecología.— En aguas dulces, estancadas, sobre rocas húmedas y suelos, ampliamente distribuida en zonas templadas, también en regiones tropicales y subtropicales (Komárek y Anagnostidis, 2005).

Distribución geográfica en Argentina.— Tucumán, Santiago del Estero, Chaco, Córdoba, Buenos Aires y Santa Cruz (Martínez De Marco, 2009; Tell, 1985).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Lavalle, La Paz y Santa Rosa (Arroyito, reserva de Telteca y Ñacuñán), 2015 a 2016, *Corvalán M. E.*: IANIGLA.

Nostoc commune

Vaucher ex Bornet y Flahault (Fig. 2C)

Talo macroscópico, desde globoso a expandido, membranoso, de color oliváceo a negruzco. Tricomas flexuosos, más o menos curvos, entremezclados, con heterocistos intercales y apicales. Acinetos poco frecuentes. Vaina visible hacia la periferia, hialina y gruesa.

Dimensiones celulares.— L: 3,4-5,5, l: 4-5,8 μm . Heterocistos: L: 4,5-6,5 μm , l: 4-5 μm .

Ecología.— Agua dulce, salobre, epífitas y edáficas (Frémy, 1930).

Distribución geográfica en Argentina.— Jujuy, Tucumán, Córdoba, Buenos Aires, Santa Cruz y Tierra del Fuego (Guarrera y Kühnemann, 1949; Martínez De Marco, 2009; Taboada *et al.*, 2016; Tell, 1985). La Pampa (Álvarez y Bazán, 1994; Álvarez, Bazán y Wenzel, 2000)

Tabla 2. Presencia-ausencia de taxones por sitio de estudio.(x presencia).

Especies	Telteca		Ñacuán		Arroyito		
	Paleoacanal	Llanura eólica	Jarillal	Algarrobal	Jarillal	Algarrobal	Estepa arbustiva halófila
<i>Lyngbya birgei</i> G.M. Smith	x	x	x	X	x	x	
<i>Microcoleus vaginatus</i> Gomont ex Gomont	x	x	x	X	x		x
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet y Flahault			x	X	x	x	
<i>Oscillatoria corakiana</i> Playfair	x			X			
<i>O. tenuis</i> Agardh ex Gomont				X	x	x	
<i>Phormidium allorgei</i> Kützing	x						
<i>P. ambiguum</i> Gomont ex Gomont	x		x	x		x	
<i>P. breve</i> (Kützing ex Gomont) Anagnostidis y Komárek				x			
<i>P. simplicissimum</i> (Gomont) Anagnostidis et Komárek						x	
<i>Scytonema tolypothrichoides</i> Kützing ex Bornet y Flahault	x	x		x	x	x	x
<i>S. crispum</i> Bornet ex De Toni	x		x	x			
<i>Tolypothrix tenuis</i> Kützing ex Bornet y Flahault	x	x					

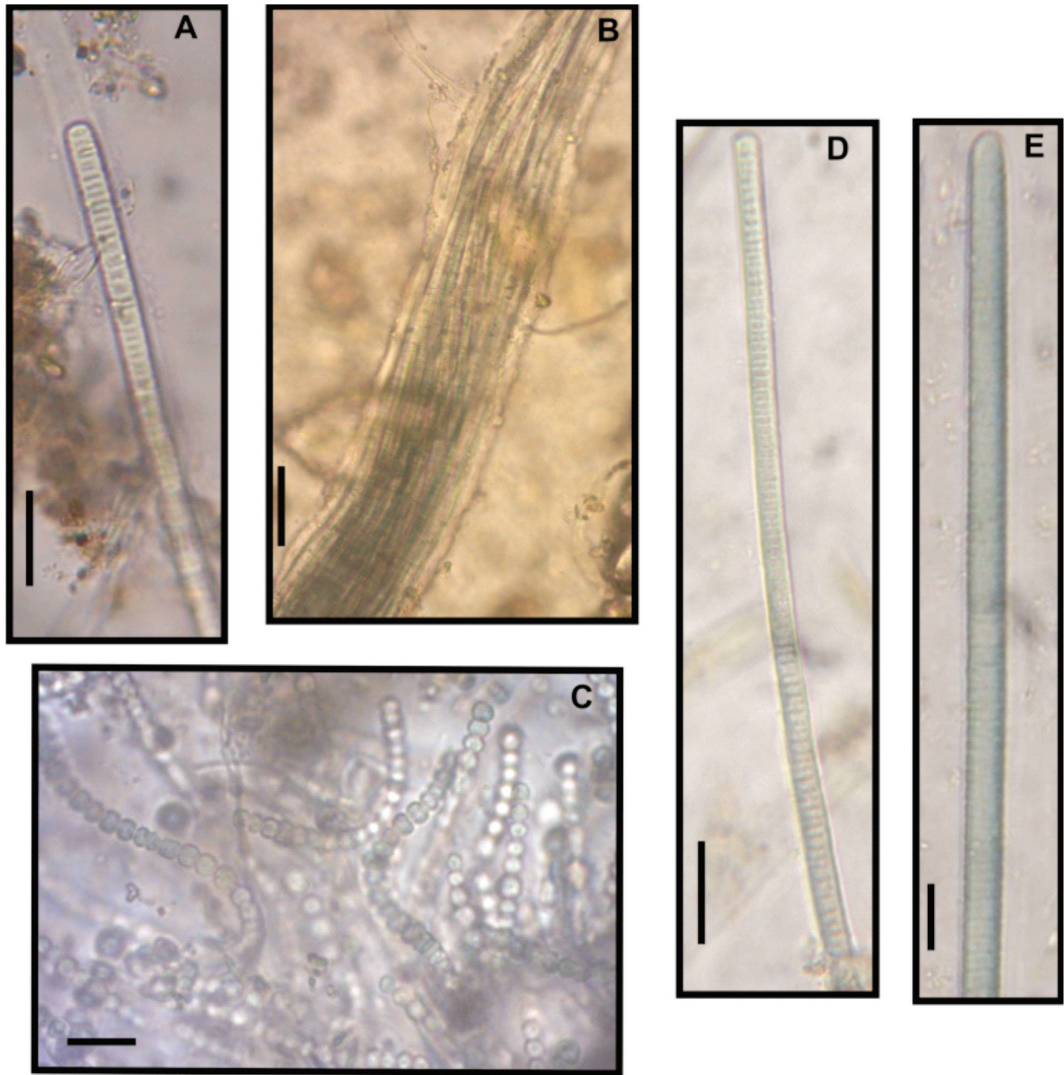


Fig. 2. A) *Lyngbya birgei*. B) *Microcoleus vaginatus*. C) *Nostoc commune*. D) *Oscillatoria corakiana*. E) *Oscillatoria tenuis*. Corvalán M. E.: IANIGLA. Escala = 10 μm

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos La Paz y Santa Rosa (Arroyito, reserva de Ñacuñán), 2015 a 2016, Corvalán M. E.: IANIGLA.

Oscillatoria corakiana
Playfair (Fig. 2D)

Tricomas rectos, ápices levemente curvos. Célula apical convexa, color verde claro a verdeoliváceo.

Dimensiones celulares.— Cél. vegetativa: L:3-4,5 μm , l: 7,5-10 μm . Cél. apical: L: 4,5-5 μm , l: 7-9 μm .

Ecología.— Agua dulce y ligeramente salobre (Frémy, 1930).

Distribución geográfica en Argentina.— Tucumán y Buenos Aires (Tell, 1985; Tracanna, 1985).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Lavalle, La Paz y Santa Rosa (Arroyito, reserva de Telteca y Ñacuñán), 2015 a 2016, Corvalán M. E.: IANIGLA.

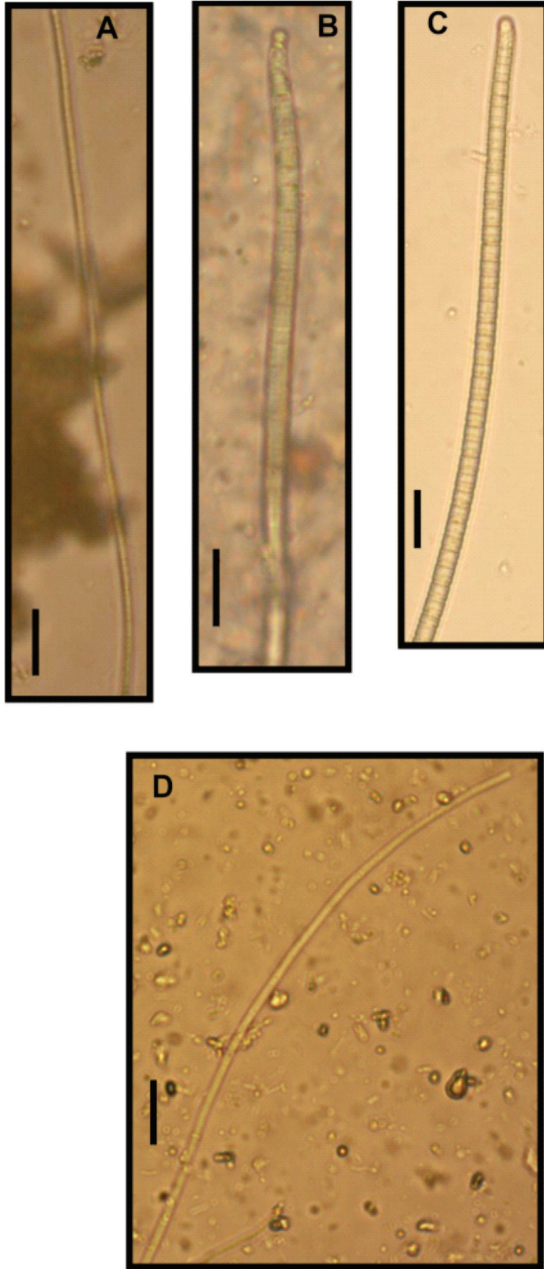


Fig. 3. A) *Phormidium allorgei*. B) *Phormidium ambiguum*. C) *Phormidium breve*. D) *Phormidium simplicissimum*. Corvalán M. E.: IANIGLA. Escala = 10 μm

Oscillatoria tenuis

Agardh ex Gomont (Fig. 2E)

Tricomas rectos, levemente constrictos, ápices rectos o curvos, no atenuados. Célula apical convexa. Color verdeazulado.

Dimensiones celulares.— Cél. vegetativa: L: 5-6,5 μm , l: 7-9,3 μm . Cél. apical: L: 5,8-7 μm , l: 7-9 μm .

Ecología.— Agua dulce y ligeramente salobre béntica y metafítica. Cosmopolita (Komárek y Anagnostidis, 2005).

Distribución geográfica en Argentina.— Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, Corrientes, Córdoba, Buenos Aires, Río Negro, Santa Cruz y Antártida (Tell, 1985; Tracanna, 1985; Martínez De Marco, 1995; Salusso, 1998; Mirande, 2001; Mirande y Tracanna, 2003; Mirande y Tracanna, 2015; Taboada *et al.*, 2016). La Pampa (Biasotti, 2016).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos La Paz y Santa Rosa (Arroyito, reserva de y Ñacuñán), 2015 a 2016, Corvalán M. E.: IANIGLA.

Phormidium allorgei

Kützing (Fig. 3A)

Filamentos solitarios rectos o poco curvos, con vainas delgadas e incoloras. Tricomas no constrictos, ápices no atenuados ni curvos. Vaina delgada

Dimensiones celulares.— L: 2,5-3,8 μm ; l: 3-4,5 μm . Cél. apical: L: 2,8-3,5 μm , l: 3-4 μm .

Ecología.— En aguas dulces, estancadas, sobre suelo, fango y piedras, raro en medios salobres. Cosmopolita (Frémy, 1930; Komárek y Anagnostidis, 2005).

Distribución geográfica en la Argentina.— Jujuy, Catamarca, Tucumán, Corrientes, Córdoba, Buenos Aires y Santa Cruz (Tell, 1985; Tracanna, 1985; Martínez De Marco, 1995; Mirande y Tracanna, 2005; Mirande, 2006; Taboada, 2017). La Pampa (Biasotti, 2016)

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos. Lavalle (Reserva

de Telteca), 2015 a 2016, *Corvalán M. E.*: IANIGLA.

Phormidium ambiguum
Gomont ex Gomont (Fig. 3B)

Filamentos rectos levemente curvados y constrictos, de coloración verdeazulado a verde amarillento. Ápices no capitados. Célula apical levemente redondeada, sin caliptra.

Dimensiones celulares.— Cél. Vegetativa: L: 3,8-5,5 μm , l: 6,5-8,3 μm . Cél. apical: L: 2,5-4 μm , l: 5-6,8 μm .

Ecología.— En agua dulce, bentica y flotante, agua salobre, perifítica sobre rocas y en suelos húmedos (Komárek y Anagnostidis, 2005).

Distribución geográfica en Argentina.— Jujuy, Tucumán, Córdoba, Buenos Aires y Santa Cruz (Guarrera y Kühnemann, 1949; Tell, 1985; Mirande, 2001).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Lavalle, La Paz y Santa Rosa (Arroyito, reserva de Telteca y Ñacuñán), 2015 a 2016, *Corvalán M. E.*: IANIGLA.

Phormidium breve (Kützing ex Gomont)
Anagnostidis y Komárek (Fig. 3C)

Tricomas verdeazulados, derechos, no constrictos, tabiques no granulados, ápices levemente atenuados y curvados. Célula apical redondeada, no capitada, sin caliptra.

Dimensiones celulares.— Cél. Vegetativa: L: 2,5-4 μm , l: 5-6,5 μm . Cél. Apical: L: 4-5 μm , l: 3,7-5 μm .

Ecología.— En aguas dulces, marinas, salobres, bentónica (Komárek y Anagnostidis, 2005)

Distribución geográfica en Argentina.— Jujuy, Tucumán, Córdoba, Buenos Aires, Chubut, Santa Cruz y Antártida (Tell, 1985; Tracanna, 1985; Martínez De Marco, 2009; Taboada *et al.*, 2016).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Santa Rosa (Reserva de Ñacuñán), 2015 a 2016, *Corvalán M. E.*: IANIGLA.

Phormidium simplicissimum (Gomont)
Anagnostidis et Komárek (Fig. 3D)

Tricomas no constrictos, derechos, tabiques sin gránulos, ápices no atenuados. Célula apical no capitada.

Dimensiones celulares.— L: 2-3,5 μm y l: 4,5-6 μm .

Ecología.— Agua dulce, perifítica en aguas corrientes, en regiones templadas a frías a tropicales y en otros biotopos del mundo (Komárek y Anagnostidis, 2005).

Distribución geográfica en Argentina.— Tucumán, Santiago del Estero, La Rioja, Corrientes, Córdoba, Buenos Aires y Santa Cruz (Tell, 1985; Tracanna, 1985; Mirande, 2001; Mirande y Tracanna, 2003; Rodríguez, Pizarro, Maidana, Dos Santos Afonso, Bonaventura, 2006).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos La Paz (Arroyito), 2015 a 2016, *Corvalán M. E.*: IANIGLA.

Scytonema crispum
Bornet ex De Toni (Fig. 4A)

Filamentos con ramificaciones falsas solitarias y frecuentemente germinadas, del mismo diámetro que el filamento principal. Vainas incoloras y firmes. Tricomas ligeramente constrictos en las zonas de crecimiento. Células cúbicas hasta cilíndricas. Heterocistos terminales e intercalares solitarios.

Dimensiones celulares.— L: 3,5-5 μm , l: 6,5-8,5 μm . Heterocisto: L: 8-9 μm , l: 10-12 μm .

Ecología.— Agua dulce, suelo y perifítica (Frémy, 1930).

Distribución geográfica en Argentina.— Tucumán, Córdoba, Entre Ríos, Buenos Aires (Tell, 1985; Tracanna, 1985).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Lavalle y Santa Rosa (Reserva de Telteca y Ñacuñán), 2015 a 2016, *Corvalán M. E.*: IANIGLA.

Scytonema tolypotherichoides
Kützing ex Bornet y Flahault (Fig. 4B)

Filamentos de color verde-amarronado, con varias ramificaciones falsas. Vaina estriada de color amarillo. Células más largas que anchas. Heterocistos cortos y/o largos.

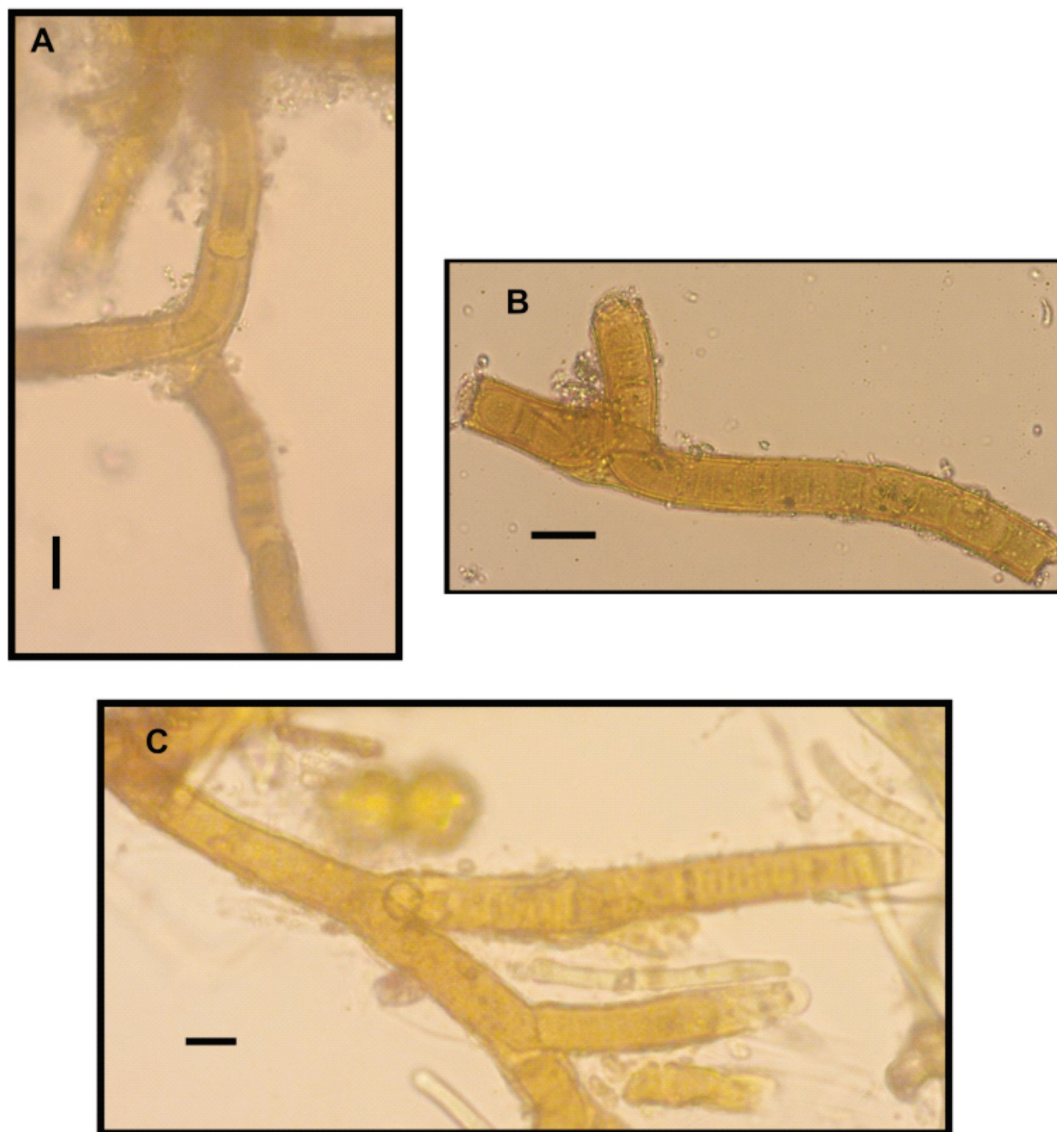


Fig. 4. A) *Scytonema crispum*. B) *Scytonema tolypothrichoides*. C) *Tolypothrix tenuis*. Corvalán M. E.: IANIGLA. Escala = 10 μm

Dimensiones celulares.— L: 2,5-4,7 μm , l: 4,5-6,6 μm . Heterocisto: L: 5,5-6 μm , l: 7,5-8 μm .

Ecología.— agua dulce, suelo y perifítica (Frémy, 1930).

Distribución geográfica en Argentina.— Tucumán (Tracanna, 1985; Martínez De Marco, 2009).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Lavalle, La Paz y Santa Rosa

(Arroyito, reserva de Telteca y Ñacuñán), 2015 a 2016, Corvalán M. E.: IANIGLA.

Tolypothrix tenuis Kützing
ex Bornet y Flahault (Fig. 4C)

Dimensiones celulares.— L: (2,2-2,5) 3-7,5 μm (7,8-10); l: (6,5) 7-9 μm . Heterocisto: L: 4-8,8 μm ; l: 9,5-12 μm . Ancho de la vaina: 8-10 μm .

Ecología.— Agua dulce, suelo y perífítica (Frémy, 1930).

Distribución geográfica en Argentina.— Tucumán; Córdoba, Santa Cruz, Patagonia y Antártida (Tell, 1985; Tracanna, 1985). La Pampa (Wenzel, Álvarez y Bazán, 1996).

Material estudiado.— ARGENTINA. Prov. Mendoza. Dptos Lavalle (Reserva de Telteca), 2015 a 2016, Corvalán M. E.: IANIGLA.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las CBS disponen del potencial como sistema modelo para explorar las relaciones entre diversidad y funcionamiento del ecosistema a varias escalas espaciales, así como para incrementar el conocimiento sobre los mecanismos que estructuran las comunidades bióticas (Castillo-Monroy *et al.*, 2011). Las características morfológicas descriptas, como la presencia de heterocistos, podrían estar asociadas a distintos procesos fisiológicos y edáficos, por lo que aportan al estudio de la funcionalidad de las CBS en el ecosistema.

Los parámetros fisicoquímicos muestran que la zona de estudio se encuentra influenciada por las diferencias en las precipitaciones, siendo éstas más abundantes en Ñacuñán (329 mm anuales), coincidiendo con los mayores contenidos de nutrientes como nitrógeno y fósforo disponible. Estas propiedades fisicoquímicas del suelo son similares a las encontradas en diversas zonas áridas, semiáridas e hiperáridas del mundo: Sonoran, Mojave, Desierto de Australia (Belnap y Gardner, 1993; Rozenstein *et al.*, 2014; García *et al.*, 2015). La estructura fina de estos sustratos permite un mejor desarrollo de las CBS, ya que los exopolisacáridos que secretan pueden adherir partículas pequeñas.

De las 12 morfoespecies identificadas, dos de ellas, *Nostoc commune* y *Microcoleus vaginatus* son de distribución cosmopolita, encontrándose en costras biológicas de todos los continentes, incluso Antártida (Weber *et al.*, 2016). Algunos investigadores consideran desde hace tiempo a *Microcoleus vaginatus* como la especie dominante de las costras microbióticas (Metting, 1991; García-Pichel,

López-Cortés, Nübel, 2001; López-Cortés, Maya y García-Maldonado, 2010), situación concordante con lo analizado en este trabajo, dado que estuvo presente en 6 de los 7 sitios estudiados.

Otras especies como *Scytonema tolyporthrichoides* y *Oscillatoria corakiana* se reportan por primera vez para costras del suelo en América del Sur.

Oscillatoria tenuis, *Phormidium allorgei*, *P. breve*, *P. simplicissimum* y *Scytonema crispum* también se encuentran en ecosistemas acuáticos de Argentina (Tell 1985; Tracanna, 1985; Martínez De Marco, 1995; Mirande, 2001; Salusso, 1998, 2005; Mirande y Tracanna, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006; Gómez *et al.*, 2012; Mirande y Tracanna, 2015; Tafoada *et al.*, 2016).

En cuanto a la funcionalidad de las especies encontradas y su posible contribución a los suelos, *Nostoc commune*, *Scytonema crispum*, *S. tolyporthrichoides* y *Tolypothrix tenuis*, corresponden a especies portadoras de heterocistos, con la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, mientras que *Lyngbya birgei*, *Microcoleus vaginatus*, *Phormidium allorgei*, *P. ambiguum*, *P. breve* y *P. simplicissimum* secretan mucílago, que actuaría como un aglutinante que adhiere y reúne las partículas del suelo, contribuyendo a aumentar la estabilidad de los mismos y reducir la erosión eólica (Halperin *et al.*, 1976; García-Pichel *et al.*, 2001; Colesie, Gommeaux, Green, Büdel, 2014). Los géneros *Microcoleus* y *Phormidium* han sido mencionados en Cisneros y Arana (2016) por ser predominantes en las CBS de los suelos de las costras desérticas y de la región altoandina en Perú. En el desierto Chihuahuense (Estados Unidos) se citan a *Microcoleus vaginatus*, *Nostoc commune*, *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp. y *Scytonema* sp. (Jiménez Aguilar, 2005). Estos taxones son representativos y comunes en las biocostras de regiones áridas, similares a la región estudiada en esta contribución.

Son necesarios los trabajos que describan e identifiquen taxonómicamente los distintos organismos de la CBS, ya que la mayoría son notablemente conspicuos (e.g., líquenes y briófitos) y podrían aportar diferen-

cialmente a la diversidad y funcionalidad de los ecosistemas. En los últimos años, se ha destacado el desarrollo de estudios sobre el papel funcional de la CBS en la dinámica del ecosistema, atendiendo a la diversidad de una manera reducida y agrupada (Bowker, Maestre, Escolar, 2010; Castillo-Monroy, Maestre, Rey, Soliveres y García-Palacios, 2011, Maestre *et al.*, 2011). Es necesario estudiar los distintos grupos biológicos que componen la CBS (cianobacterias, líquenes con distintas morfologías y continuidad del talo, musgos y hepáticas), para determinar la participación de la CBSs en los procesos hidrológicos de protección del suelo frente a la erosión por agua y viento (Eldridge y Rosentreter, 1999). Cada especie puede presentar características fisiológicas diferentes, y con ello contribuir diferencialmente a las funciones ecosistémicas (Cornelissen, Lang, Soudzilovskaia, During, 2007).

Las biocostras se desarrollan en distintos ambientes áridos y son importantes en el mantenimiento de la vida en los ecosistemas terrestres más secos del mundo. Este trabajo brinda un aporte fundamental, al incrementar el número de morfoespecies registradas de cianobacteria presentes en las CBS de una provincia cuyana de Argentina.

Dado que la taxonomía de cianobacterias que componen la CBS no ha sido abordada integralmente, considerando cultivos algales mono-específicos, análisis moleculares, morfología, fisiología y ecología, se requieren estudios multidisciplinares para conocer la diversidad de cianobacterias, identificar especies nuevas, y sus funciones ecológicas en estos ambientes áridos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Silvia Martínez De Marco y Vanesa García por su ayuda con el trabajo de microscopía, a Marcelo Quiroga por su ayuda en laboratorio y a Leandro Álvarez por su ayuda con GIS. Este proyecto fue financiado por subsidios otorgados a J. Arani-bar por ANPCyT (PICT 2015-0582)

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, M. R. y Sala, O. E. (1999). Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology y Evolution* 14: 273-277. doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01612-2
- Aguilera, A. y Echenique R. (2011). Consideraciones generales de Cyanobacteria: aspectos ecológicos y taxonómicos. En *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*. Departamento de Salud Ambiental. Ministerio de Salud 2: 21-40.
- Almeida Portero, M. E. (2014) Evaluación como acondicionador de suelo y nivel de laboratorio, de un consorcio previamente seleccionado de microalgas y cianobacterias con predominio de *Calothrix* sp. Tesis de grado. Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.
- Alonso, M., Rodríguez-Caballero, E., Chamizo, S., Escribano, P. y Cantón, Y. (2014). Evaluación de los diferentes índices para cartografiar biocostras a partir de información espectral. *Revista de tele-detección Asociación Española de Tele-detección* 42: 63-82. doi.org/10.4995/raet.2014.2317.
- Álvarez, S.B. y Bazán G. I. (1994). Cianofíceas Continentales de la Pcia. de La Pampa (Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía. UNLPampa* 7 (2): 43-62. ISSN 0326-6184.
- Álvarez, S.B.; Bazán G. I. y Wenzel M.T. (2000). *Hormogonales (Cyanophyta) de la Laguna El Guanaco* (La Pampa, Argentina). *Darwiniana* 38 (3-4): 279-284. ISSN: 0011-6793
- Annual Book of Standards ASTM (1993): Section 4, vol. 4.08 Soil and Rock. D. 2488.
- Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes* 20: 3159-3178. doi.org/10.1002/hyp.6325
- Belnap, J. y Gardner, J. S. (1993). Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: The role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Great Basin Naturalist* 53: 40-47. https://scholar.archive.byu.edu/gbn
- Belnap, J. y Lange, O. L. (2003). *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Springer Verlag, Berlin, Alemania, 141: 306-316. doi 10.1007/s00442-003-1438-6

- Belnap, J., Phillips, S. L., Witwicki, D. L. y Miller, M. E. (2008). Visually assessing the level of development and soil surface stability of cyanobacterially dominated biological soil crusts. *Journal of Arid Environments* 72: 1257-1264. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.02.019
- Biasotti, A. E. (2016). Ficoflora de la Llanura Aluvial del Río Colorado (Patagonia Argentina). Distribución temporal de la comunidad fitoplanctónica continental. *Publicia*. ISBN 978-3-8416-8139-3. 156 pp.
- Boeken, B., Ariza, C., Gutterman, Y. y Zaady, E. (2004). Environmental factors affecting dispersal, germination and distribution of *Stipa capensis* in Negev Desert, Israel. *Ecological Research* 19: 533-540. doi.org/10.1111/j.1440-1703.2004.00666.x
- Bowker, M. A., Maestre, F. T. y Escolar, C. (2010). Biological crusts as a model system for examining the biodiversity-ecosystem function relationship in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 405- 417. doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.025
- Boyer, S. L., Johansen, J. R. y Flechtner, V. R. (2002). Phylogeny and genetic variance in terrestrial *Microcoleus* (Cyanophyceae) species based on sequence analysis of the 16S rRNA gene and associated 16S-23S ITS region. *Journal of Phycology* 38:1222-1235. doi.org/10.1046/j.1529-8817.2002.01168.x
- Bremner, J. M. y Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-Total. In: Page, A.L., Miller, R.H. y Keeney, D.R. (Eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2 (pp 595-624). Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Cabrera, A. L. (1976). *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería: regiones fitogeográficas Argentinas*. Acme.
- Castillo-Monroy, A. P., Bowker, M. A., Maestre, F. T., Rodríguez Echeverría, S., Martínez, I., Barraza Zepeda, C. E. y Escolar, C. (2011). Relationships between biological soil crusts, bacterial diversity and abundance, and ecosystem functioning: Insights from a semi arid Mediterranean environment. *Journal of Vegetation Science* 22: 165-174. doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01236.x
- Chamizo, S., Cantón, Y., Lázaro, R., Solé-Benet, A. y Domingo, F. (2012). Crust Composition and Disturbance Drive Infiltration through Biological Soil Crusts in Semiarid Ecosystems. *Ecosystems* 15: 148-161. doi.org/10.1007/s10021011-9499-6.
- Cisneros, S. y Arana C. (2016). Variación a microescala espacial de la composición de microalgas de la costra biológica del suelo en la Reserva Nacional Lomas de Lachay, Lima. XXV, Reunión Científica del Instituto de Investigación de Ciencias Biológicas "Antonio Raimondi". Lima, Perú. doi: 10.13140/RG.2.2.21311.51363
- Colesie, C., Gommeaux, M., Green, T. A. y Büdel, B. (2014). Biological soil crusts in continental Antarctica: Garwood Valley, southern Victoria Land, and Diamond Hill, Darwin Mountains region. *Antarctic Science* 26 (2): 115-123. doi.org/10.1017/s0954102013000291
- Cornelissen, J. H. C., Lang, S. I., Soudzilovskaia, N. A. y During, H. J. (2007). Comparative Cryptogam Ecology: A Review of Bryophyte and Lichen Traits that Drive Biogeochemistry. *Annals of Botany* 99: 987-1001. doi.org/10.1093/aob/mcm030
- Davies, B. E. (1974). Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal* 38 (1): 150-151.
- DeFalco, L. A., Detling, J. K., Tracy, C. R. y Warren, S. D. (2001). Physiological variation among native and exotic winter annual plants associated with microbiotic crust in the Mojave Desert. *Plant and Soil* 234 (1): 1-14. doi.org/10.1023/A:1010323001006.
- Desikachary, T. V. (1959). Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.
- Eldridge, D. J. y Rosentreter, R. (1999). Morphological groups: a framework for monitoring microphytic crust in arid landscape. *Journal of Arid Environments* 41: 11-25. doi.org/10.1006/jare.1998.0468
- Fernández Valiente E., Ucha A., Quesada A., Leganes F. y Carreres R. (2000). Contribution of N₂ fixing cyanobacteria to rice production: availability of nitrogen from 15N-labelled cyanobacteria and ammonium sulphate to rice *Plant Soil* 221: 107-112.
- Franco, I. (2004). *Anabaena azolla* como un abono alternativo en la producción de arroz en el litoral ecuatoriano - Análisis Económico Financiero. (Tesis de grado). Universidad Católica de Chile.
- Frémy, P. (1930). Les Myxophycées de l' Afrique aquatoriale française. *Extrait des Archives de Botanique*. Caen, Francia.

- García V., Aranibar J. y Pietrasiak N. (2015). Multiscale effects on biological soil crusts cover and spatial distribution in the Monte Desert. *Acta Oecologica* 69: 35-45. doi.org/10.1016/j.actao.2015.08.005
- García-Pichel, F. y Belnap J. (1996). Microenvironments and microscale productivity of cyanobacterial desert crusts. *Journal of Phycology* 32: 774-782. doi.org/10.1111/j.0022-3646.1996.00774.x
- García-Pichel, F., Belnap, J., Neuer, S. y Schanz, F. (2003). Estimates of global cyanobacterial biomass and its distribution. *Algological Studies* 109 (1): 213-227. doi.org/10.1127/1864-2003/0109-0213
- García-Pichel, F., López-Cortés, A. y Nübel, U. (2001). Phylogenetic and morphological diversity of cyanobacteria in soil desert crusts from the Colorado Plateau. *Applied and Environmental Microbiology* 67 (4): 1902-1910. doi:10.1128/AEM.67.4.1902-1910.2001
- Ghosh, N. (2002). Promoting Bio-fertilizers in Indian Agriculture. Institute of Economic Growth University Enclave. Delhi. India.
- Gómez, D. A., Aranibar, J. N., Tabeni, S., Villagra, P. E., Garibotti, I. A. y Atencio, A. (2012). Biological soil crust recovery after long-term grazing exclusion in the Monte Desert (Argentina). Changes in coverage, spatial distribution, and soil nitrogen. *Acta Decologica* 38: 33-40. doi.org/10.1016/j.actao.2011.09.001
- Gómez, M. L., Aranibar, J. N., Wuilloud, R., Rubio, C., Martínez, D., Soria, D., Monasterio, R., Villagra, P. y Goirán, S. (2014). Hydrogeology and hidrogeochemical modeling in phreatic aquifer of NE Mendoza, Argentina. *Journal Iberian Geology* 40: 521-538. doi.org/10.5209/rev_JIGE.2014.v40.n3.43302
- Guarrera, S. A. y Kühnemann, O. (1949). Catálogo de las Chlorophyta y Cyanophyta de agua dulce de la República Argentina. *Lilloa* 19: 219-318.
- Halperin D.R., Mule M.C.Z y Caire G.Z. (1976). Biodermas algales como fuente de nitrógeno en suelos sub húmedos y semi áridos (provincias de Chaco y Formosa, Argentina). *Darwiniana* 20: 3-4.
- Jiménez Aguilar, A. (2005). Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. <http://hdl.handle.net/11627/60>
- Karnieli, A. (1997). Development and implementation of spectral crust index over dune sands. *International Journal of Remote Sensing* 18 (6): 1207-1220. doi.org/10.1080/014311697218368.
- Kidron, G. J., Vonshak, A., Dor, I., Barinova, S. y Abeliovich, A. (2010). Properties and spatial distribution of microbiotic crusts in the Negev Desert, Israel. *Catena* 82 (2): 92-101. doi.org/10.1016/j.catena.2010.05.006.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. (2005). Cyanoprocaryota, Band 19, Teil 2: Oscillatoriales. Süßwassereflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag Jena.
- Labraga, J. C. y Villalba, R. (2009). Climate in the Monte Desert: past trends, present conditions, and future projections. *Journal of Arid Environments* 73: 154-163. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.03.016
- Ladha, J. K. y Reddy, P.M. (2003). Nitrogen fixation in rice systems: state of knowledge and future prospects. *Plant Soil* 252: 151-167.
- Li X. R., Chen Y. W. y Yang L. W. (2004). Cryptogam Diversity and Formation of Soil Crusts in Temperate Desert. *Annals of Arid Zone* 43: 335-353.
- López-Cortés A., Maya Y. y García-Maldonado J. (2010). Diversidad filogenética de especies de *Microcoleus* de costras biológicas de suelo de la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 1-7. doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.001.204
- Maestre, F. T., Bowker, M. A., Cantón, Y., Castillo-Monroy, A. P., Cortina, J., Escolar, C., Escudero, A., Lázaro, R. y Martínez, I. (2011). Ecology and functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain. *Journal of Arid Environments* 75: 1282-1291. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.12.008
- Mandal, B., Vlek, P. G. L. y Mandal, L. N. (1999). Beneficial effects of blue-green algae and *Azolla*, excluding supplying nitrogen, on wetland rice fields: a review. *Biology and Fertility of Soils* 28: 329-342. doi.org/10.1007/s003740050501
- Martínez De Marco S. (1995). Algas edáficas de Tucumán (Argentina). *Lilloa* 38: 5-39.
- Martínez De Marco, S. N. (2009). Estudio de la comunidad fitoplanctónica en ríos de la cuenca superior del río Salí, Tucumán, Argentina. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Menon, M., Yuan, Q., Jia, X., Dougill, A. J., Hoon, S.R., Thomas, A. D. y Williams, R. A. (2011). Assessment of physical

- and hydrological properties of biological soil crusts using X-ray microtomography and modeling. *Journal of Hydrology* 397 (1-2): 47-54. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.021.
- Metting, B. (1991). Biological surface features of semiarid lands and deserts. In: J. Skujins (ed.) (pp. 257-293). Semiarid lands and deserts: soil resource and reclamation Marcel Dekker, New York.
- Miralles-Mellado, I., Cantón, Y. y Solé-Benet, A. (2011). Two-dimensional porosity of crusted silty soils: Indicators of soil quality in semiarid rangelands? *Soil Science Society of America Journal* 75 (4): 1330-1342. doi.org/10.2136/sssaj2010.0283.
- Mirande, V. (2001). Dinámica del fitoplancton del río Gastona (Tucumán, Argentina) en relación a la calidad de sus aguas. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Mirande, V. (2006). Riqueza del fitoplancton del Arroyo Calimayo (Tucumán, Argentina). *Lilloa* 43: 61-86.
- Mirande, V. y Tracanna, B. C. (2003). El fitoplancton del río Gastona (Tucumán, Argentina) y su relación con la calidad del agua. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 38 (1-2): 51-64.
- Mirande, V. y Tracanna, B. C. (2005). Fitoplancton de un río del Noroeste Argentino contaminado por efluentes azucareros y cloacales. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 40 (3-4): 169-182.
- Mirande, V. y Tracanna, B. C. (2015). Cianobacterias de humedales de altura del Noroeste Argentino. *Lilloa* 52: 122-141.
- Norris, T. B., McDermott, T. R. y Castenholz, R. W. (2002) The long-term effects of UV exclusion on the microbial composition and photosynthetic competence of bacteria in hot-spring microbial mats. *FEMS Microbiology Ecology* 39 (3): 193-209. doi.org/10.1111/j.1574-6941.2002.tb00922.x
- Pointing, S. B. y Belnap, J. (2012). Microbial colonization and controls in dryland systems. *Nature Reviews Microbiology* 10 (8): 551-562. doi: 10.1038/nrmi-cro2831 Source: PubMed.
- Prescott, G. W. (1961). Algae of Western Great Lakes Area. W. M. C. Brown Company Publishers. Dubuque.
- Rodríguez, P. L., Pizarro H., Maidana N., Dos Santos Afonso M. y Bonaventura S. M. (2006). Epixilic algae from a lowland river from Buenos Aires province (Argentina). *Cryptogamie, Algologie* 27 (1): 63-83.
- Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Chamizo, S., Afana, A. y Solé-Benet, A. (2012). Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology* 145-146: 81-89. doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.042.
- Rossi, B. E. (2004). Flora y vegetación de la Reserva de Biosfera de Ñacuñán después de 25 años de clausura. Heterogeneidad espacial a distintas escalas. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Rozenstein, O., Zaady, E., Katra, I., Karnieli, A., Adamowski, J., y Yizhaq, H. (2014). The effect of sand grain size on the development of cyanobacterial biocrusts. *Aeolian Research* 15: 217-226.
- Rundel, P. W.; Villagra, P. E.; Dillon, M. O.; Roig Juñent, S. y Debandi, G. (2007): Arid and semi-arid ecosystems. In: Vebler, T. T.; Young, K. R. y Orme, A. R (eds): The physical geography of South America. Oxford, 158-183.
- Salusso, M. M. (1998). Evaluación de la calidad del agua de dos ríos del valle de Lerma (Salta) sometidos a acción antrópica. (Tesis de Magister). Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Salusso, M. M. (2005). Evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la Alta Cuenca del Juramento (Salta). (Tesis Doctoral). Universidad de Buenos Aires, Argentina. digital.bl.fcen.uba.ar/gsd1-282/cgi-bin/library.cgia=dyc=tesisyd=Tesis_3872_Salusso
- Steunou, A. S., Bhaya, D., Bateson, M. M., Melendrez, M. C., Ward, D. M., Brecht, E., Peters, J. W., Kuhl, M. y Grossman, A. R. (2006) In situ analysis of nitrogen fixation and metabolic switching in unicellular thermophilic cyanobacteria inhabiting hot spring microbial mats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 103: 2398-2403. doi.org/10.1073/pnas.0507513103
- Tabeni, S., Garibotti, I. A., Pissolito, C. y Aranibar, J. N. (2014). Changes in biotic interactions affect the cover and small-scale spatial patterns of biological soil crusts along grazing gradients in an arid rangeland. *Journal of Vegetation Science* 25: 1417-1425. doi.org/10.1111/jvs.12204.
- Taboada, M. de los Á. (2017). Estudio de la Ficoflora como Bioindicadora del es-

- tado Ecológico en Sistemas Lóticos de Tucumán. Evaluación del Impacto Antrópico. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Taboada, M. de los Á., Martínez De Marco S. N. y Tracanna B. C. (2016). Biodiversidad Epilítica de un arroyo subtropical del Noroeste Argentino. *Lilloa* 53 (1): 10-22.
- Tell, G. (1985). Catálogo de las algas de agua dulce de la República Argentina. *Bibliotheca Phycologica*, Band 70. J. Cramer. Vaduz.
- Tracanna, B. C. (1985). Algas del Noroeste Argentino (excluyendo a las Diatomophyceae). *Opera Lilloana* 35. 136 pp.
- Villagra, P. E., C. V. Giordano, J. A. Alvarez, J. B. Cavagnaro, A. Guevara, C. Sartor, C. B. Passera y Greco S. (2011). Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología Austral* 21: 29-42.
- Villagra, P. E., Cony, M. A., Mantován, N. G., Rossi, B. E., González Loyarte, M. M., Villalba, R. y Marone, L., (2004). Ecología y Manejo de los algarrobales de la Provincia Fitogeográfica del Monte. In Arturi, M.F., Frangi, J.L., Goya, J.F. (Ed.). *Ecología y Manejo de Bosques Nativos de Argentina*, Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires: AOP, Vázquez Mazzini
- Weber, B., Büdel, B., y Belnap, J. (Eds.). (2016). *Biological soil crusts: an organizing principle in drylands* (Vol. 226). Springer. doi 10.1007/978-3-319-30214-0
- Wenzel, M. T, S. B Alvarez y Bazán, G. I. (1996). Estudio preliminar de las cianofíceas del Embalse Casa de Piedra (Pcia. de La Pampa). Argentina. *Physis* 51 (120-121): 9-16. ISSN: 0373-6709.
- Whitton, B. A. (1992). Diversity, ecology, and taxonomy of the Cyanobacteria. En: N. H. Mann, N. G. Carr (Eds.), *Photosynthetic Prokaryotes* (pp. 1-51). Nueva York: Plenum.