

# Cianobacterias edáficas en un relicto de monte nativo de la Provincia de Córdoba

Verónica Schinquel<sup>1</sup>, Raquel Murialdo<sup>2</sup> y Claudia Daga<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería - Mención Ambiente (FCEFyN). Becaria SECyT, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

<sup>2</sup> Departamento de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

<sup>3</sup> Departamento de Diversidad Biológica y Ecología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Fecha de recepción del manuscrito: 30/08/2017

Fecha de aceptación del manuscrito: 05/12/2017

Fecha de publicación: 15/03/2018

**Resumen**— Este trabajo es de tipo observacional, descriptivo y exploratorio sobre cianobacterias de suelos de un área con relicto de monte nativo localizado en el Departamento Colón, Provincia de Córdoba. Se tomaron muestras a una profundidad de 0 - 10 cm en suelo. El estudio se realizó mediante la obtención de cultivos masivos utilizando medio de Watanabe, en cámara a una temperatura de  $25\pm 2$  °C, con fotoperíodo de 12 hs de luz y 12 hs de oscuridad. La iluminación se proporcionó a una intensidad de 4.500 a 5.000 luxes. La determinación taxonómica se realizó con microscopio Leyca CME 500 y la asistencia de claves dicotómicas específicas. Los resultados de laboratorio permitieron caracterizar la comunidad de cianobacterias edáficas, en la que se reconocieron 24 especies: 14 del Orden Oscillatoriales, 6 del Orden Nostocales y 4 del Orden Synechococcales. Durante el período de cultivo se observó el desarrollo diferencial de las formas no heterocistadas y heterocistadas de cianobacterias; las formas heterocistadas con heterocisto presente se desarrollan de manera tardía a partir de la quinta semana de cultivo.

**Palabras clave**— suelo nativo, microbiota, heterocisto, Córdoba.

**Abstract**— This work is an observational, descriptive and exploratory study of soil cyanobacteria from an area with native mountain relict located in the Colón Department, Córdoba Province. Samples were taken at a depth of 0-10 cm in soil. The study was performed by obtaining massive cultures using Watanabe medium, in a chamber at a temperature of  $25\pm 2$  °C, with photoperiod of 12 hours of light and 12 hours of darkness. Lighting was provided at an intensity of 4.500 to 5.000 lux. The taxonomic identification was made under a Leyca CME 500 microscope and the assistance of specific dichotomous keys. The laboratory results allowed characterizing the communities of edaphic cyanobacteria in which were recognized 24 species: 14 of the Order Oscillatoriales, 6 of the Order Nostocales and 4 of the Order Synechococcales. During the cultivation period, the differential development of non-heterocysted and heterocysted forms of cyanobacteria was observed; the heterocyst forms with present heterocyst develop late starting from the fifth week of culture.

**Keywords**— native soil, microbiota, heterocyst, Córdoba.

## INTRODUCCIÓN

El suelo constituye uno de los principales hábitat de cianobacterias (Dorador et al., 2008) y en ambientes descubiertos de vegetación, la importancia ecológica de estos microorganismos fotótrofos se manifiesta fundamentalmente en la promoción de procesos relacionados con la formación de agregados y la estabilización del suelo (Ansín et al., 2003; Tieying et al., 2005; Fernández Belmonte y Polizzoto, 2006; Nisha et al., 2007; Fernández Belmonte et al., 2008; Manrique et al., 2013), y específicamente con *Nostoc* sp. (Falchini et al., 1996). También se ha observado que pueden modificar la

actividad de las enzimas relacionadas al ciclo del carbono (beta-glucosidasas), del nitrógeno (ureasas, proteasas) y del fósforo (fosfatasa). Este comportamiento, además, tiene efecto sobre el crecimiento de las plantas (Zulpa et al., 2008). Además, en períodos prolongados de sequía, las cianobacterias que forman parte de biodermas algales, pueden prevenir la evaporación del agua del suelo. Este efecto se debería a dos factores: uno a la reducción del potencial osmótico en la superficie del suelo y el segundo a la inhibición de la evaporación del agua (Haruyuki et al., 2003).

Estos organismos poseen importancia evolutiva, ya que posiblemente fueron los principales responsables de la oxigenación de la atmósfera terrestre, como consecuencia de la utilización del agua en el proceso de fotosíntesis (Stewart, 1978; Knoll, 1985) que le sirve como donador de electrones (Whitton y Potts, 2000). A pesar de tener características fotosintéticas similares a las algas eucariotas

Dirección de contacto:

Verónica Schinquel, Avenida Vélez Sarsfield 299. X5000 JJC. Tel: 5353800, vschinquel@gmail.com

y plantas superiores, su organización estructural y bioquímica se corresponde con el de bacterias gram-negativas (Stanier y Cohen-Bazire, 1977).

Debido a su ubicación en las redes alimentarias (Lin y Wu, 2013) y en especial por la función que desempeñan en el ciclo de los nutrientes (Whitton y Potts, 2006) son microorganismos esenciales de los ecosistemas. Poseen elevada capacidad de adaptaciones morfológicas y fisiológicas lo cual les permite ser organismos pioneros en diferentes ambientes (Rindi, 2007).

Por otra parte, las cianobacterias, al fijar el nitrógeno atmosférico tienen una incidencia significativa para el resto de la biota (Un y Kamppbell, 2003). En este sentido numerosos estudios han descripto el rol de este grupo de microorganismos en el mantenimiento de la fertilidad, a través del proceso de fijación biológica de nitrógeno (Quesada y Fernández-Valiente, 1996; Jha et al., 2001; Prasanna y Nayak, 2007). Se conocen los mecanismos de adaptación de las cianobacterias en situaciones de déficit de nitrógeno, los cuales están comandados globalmente por el gen *NtcA*, un regulador transcripcional de la familia FNR/CRP. En ausencia de amonio la respuesta implica en primera instancia, una modificación metabólica encaminada al uso de fuentes de nitrógeno alternativas, incluyendo la reutilización de los aminoácidos de las proteínas que forman parte de los complejos antenas-fotosintéticos. Pero además, algunas cianobacterias filamentosas exhiben un proceso de transformación morfológica y funcional de algunas células vegetativas en heterocistos, especializados en la fijación de nitrógeno molecular. El proceso implica, la activación secuencial de varios genes cuya expresión tiene lugar de forma casi exclusiva en las células sometidas a diferenciación (Muro-Pastor y Hess, 2012; Muro-Pastor 2014). La presencia, en algunas especies, de un complejo nitrogenasa les permite crecer en condiciones de deficiencia de nitrógeno incrementando sus mecanismos de adaptación para colonizar ambientes pobres en nutrientes (Mitschke et al., 2011; Dos Santos et al., 2012).

En el caso particular del suelo del bosque nativo, la región del Espinal, ha sufrido el impacto del desmonte masivo y la expansión agrícola, uniformando su fisonomía y paisaje con los de la región pampeana. Este proceso iniciado en la segunda mitad del siglo XIX y que prosiguió durante el siglo XX, acelerándose marcadamente hacia final de este último (Brown et al., 2006; Clausen et al., 2008), ocasionó pérdidas de biodiversidad y de recursos genéticos nativos. En las primeras décadas del desarrollo agropecuario, los productores desmontaron y cultivaron solamente una parte de su propiedad y mantuvieron otra parte como "monte" para uso ganadero y de leña (Noy-Meir, 2006); sin embargo, en los últimos años se aceleró el desmonte de estos bosques residuales para uso agrícola. En la Provincia de Córdoba, estos procesos han reducido la superficie de bosques del Espinal a sólo el 0,1 % de su superficie original (Zak, 2008), quedando así remanentes que se distribuyen en numerosos fragmentos o relictos, en su mayoría muy pequeños, aislados en el paisaje agrícola (Zak y Cabido, 2004; Verzino y Joseau, 2005; Zak, 2008).

Ante esta situación, se considera que mantener una elevada biodiversidad, en este caso de cianobacterias, puede conferir resistencia y resiliencia favoreciendo la sustentabilidad de los ecosistemas (Brussaard et al., 2007).

Esto implica que alteraciones en la composición de las especies de sus comunidades como resultado de factores de estrés ambiental, puede afectar a la estructura y el funcionamiento de todo el ecosistema (Campanella et al., 2000; Wong, 2000; Verdisson et al., 2001).

El presente trabajo tuvo como objetivo el estudio exploratorio y descriptivo de las cianobacterias, aisladas a partir del suelo de un relictos de bosque de Espinal en la Provincia de Córdoba. Los resultados constituyen un aporte al conocimiento sobre la riqueza de la microbiota edáfica. Es la base para el diseño de futuros ensayos que permitirán cuantificar estos organismos y conocer, entre otras cosas, el impacto de productos agroquímicos en el manejo agrícola del suelo, la aplicación de los mismos como biofertilizantes o su utilización en procesos de bioremediación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este trabajo se realizó con suelos de un relictos de bosque nativo que se encuentra a 530 msnm, en la estancia "El Arenal de San José", pedanía Cañas, del Departamento Colón, a 50 km de la ciudad de Córdoba, Argentina (30°58'27.79"S, 63°53'15.60"O) (ver Fig. 1). De acuerdo a la Carta de Suelo de la Provincia de Córdoba (Jarsún et al., 2003) corresponde en su descripción general a la Serie Barranca Yaco y al tipo Argiustol típico (Soil Survey Staff, 2014), bien drenado, vinculado a un relieve de lomas suaves y pendientes que no superan el 1% y buena disponibilidad de nitrógeno; desarrollado a partir de sedimentos loésicos de texturas franco limosa (INTA, 2015).



Fig. 1. Área de estudio.

Respecto a las características climáticas es de tipo Continental, con régimen hídrico Monzónico, donde la mayor cantidad de precipitaciones ocurren durante la estación más cálida, o sea, concentradas en verano y escasas en invierno. Según Thornthwaite (1948), el área de estudio, posee un clima subhúmedo seco, mesotermal, sin exceso de agua y baja concentración estival de la eficiencia térmica. La estación húmeda, de noviembre a marzo, presenta precipitaciones promedio de 539±153 mm y un total anual de 759±179 mm (Casagrande y Vergara, 1996). La temperatura media anual es de 15,8°C, mientras que la correspondiente al mes más cálido (enero) es de 22°C, y al más frío (julio) es de 8°C. Las temperaturas mínimas oscilan entre -3°C y -10°C, y las máximas entre 40°C y 43°C (Casagrande y Vergara, 1996).

La formación vegetal del área de estudio corresponde a un remanente del Espinal, región que se extiende en el centro de Argentina a modo de arco entre el Bosque Chaqueño y el Pastizal Pampeano, en las provincias de

Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, San Luis, La Pampa y Buenos Aires. Es considerada un ecotono entre el Bosque Chaqueño y el Pastizal Pampeano, donde desaparecen muchas de las especies leñosas chaqueñas y se enriquece el estrato herbáceo con especies pampeanas (Lewis y Collantes, 1973).

El estrato arbóreo del relicto estudiado está compuesto por 17,5% de *Prosopis alba*, 45% de *Celtis ehrenbergiana*, 6,3% de *Acacia caven*, 7,2% *Acacia aroma*, 14% de *Geoffraea decorticans*, 7% de otras nativas y 3% de exóticas. La riqueza promedio del estrato herbáceo relevado fue de 74,9 especies, siendo mayor en la periferia que en el centro del fragmento. El desarrollo del estrato arbustivo se concentra en la periferia del relicto y está representado por las siguientes especies: *Lycium* sp., *Jodina rhombifolia*, *Cestrum* sp., *Cestrum parqui*, *Schinus fasciculata*, *Condalia microphyla*, *Aloysia gratissima* y *Caesalpinia gilliesii*.

### Muestreo a campo

El área de muestreo se dividió en cuadrículas a partir de la cual se seleccionaron 3 puntos de manera aleatoria, donde se tomaron 3 muestras simples por triplicado a una profundidad de 0-10 cm con muestreador manual “pico y tacho” (ver Fig. 2.a). Las muestras se conservaron en bolsas cerradas (ver Fig. 2.b) y se mantuvieron refrigeradas a 4°C hasta el momento de su procesamiento.

### Obtención de cultivos, identificación y determinación taxonómica de las cianobacterias desarrolladas

Con cada muestra se realizaron cultivos, colocando 10 g de suelo sin tamizar, en cápsulas de Petri esterilizadas (ver Fig. 2.d). Cada caja se regó con 15 ml de medio líquido Watanabe y Watanabe (1959), tapada y colocada en cámara de cultivo a una temperatura de 25±2 °C, con fotoperíodo de 12 hs de luz y 12 hs de oscuridad a una intensidad de 4.500 a 5.000 luxes (Halperin et al., 1973; Rippka et al., 1979) (ver Fig. 2.c).

Los cultivos fueron controlados cada 7 días, a partir del primer día de cultivo y durante un período de 9 semanas. El seguimiento del desarrollo de las cianobacterias se realizó utilizando como criterio de clasificación 3 grupos de cianobacterias heterocistadas con Heterocisto Presente (HP), heterocistadas Sin Heterocisto presente (SH) y No Heterocistadas (NH). El seguimiento se realizó obteniendo de cada una de las cápsulas 3 muestras al azar, con el auxilio de una malla cuadrículada regular de 1cm<sup>2</sup> de área. A partir de estas observaciones se calculó el porcentaje de frecuencia relativa (Fr) de acuerdo a la fórmula  $Fr = Si/N \times 100$ , donde *Si* es el número de muestras con presencia del grupo “i” observado y *N* es el número total de muestras. La Fr se utilizó para considerar las frecuencia de presencia de cada grupo: alta (presente entre el 61 y 100%), media (presente entre el 21 al 60%) y baja (presente en menos del 21%).

Para cada uno de los grupos se realizó la identificación y descripción de las especies que lo componían; para lo cual se consideraron las siguientes características: longitud total del filamento, ancho y longitud de las células vegetativas y

dimensiones y morfología de las células terminales, presencia o ausencia de vaina, heterocistos, vesículas de gas y de mucílago, formación de colonias y contenido celular. Los diferentes taxones de cianobacterias edáficas fueron observados en microscopio óptico Leica CME 500 con observaciones a 40X y 100X (ver Fig. 2.d). La identificación se realizó utilizando el sistema de clasificación: Kőmárek y Anagnostidis (1998; 2005), Kőmárek y Hauer (2012) y Kőmárek et al. (2013; 2014). Se tomaron fotomicrografías de los géneros identificados en las muestras (ver Fig. 2.f).



Fig. 2. Muestreo a campo y obtención de cultivos: a- Muestreador; b- Muestras de suelo; c- Cultivos en cámara; d- Crecimiento en cápsulas de Petri; e- Microscopio; f- *Oscillatoria subbrevis*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la comunidad de Cianobacteria edáficas

En el estudio se identificaron 24 especies, de las cuales 14 especies corresponden al Orden Oscillatoriales (Familias: Coleofasciculaceae y Oscillatoriaceae), 6 especies del Orden Nostocales (Familias: Nostocaceae y Rivulariaceae) y 4 del Orden Synechococcales (Familia: Leptolyngbyaceae) (ver Tabla 1). Los taxones *Nostoc commune*, *Nostoc muscorum*, *Calothrix clavata*, *Phormidium corium* y *Leptolyngbya tenuis* (ex *Phormidium tenuis*) coinciden con los encontrados por Fernández Belmonte y Polizzoto (2006) y Manrique et al. (2012) en suelos de la Provincia de San Luis. Por otra parte, algunas de estas especies (*Oscillatoria limosa* y *Nostoc commune*) han sido citadas para ambientes acuáticos en la Provincia de Córdoba (Daga y Pierotto, 2011), pero en todos los casos constituyen nuevas citas para los suelos de la Provincia de Córdoba. La riqueza específica es una característica de las comunidades que depende de un conjunto de propiedades del ambiente; es así que, Alwathnani y Johansen (2011), en su trabajo sobre la distribución y abundancia de costras microbianas de suelo que habitan en el Desierto de Mojave (California), determinaron 90 especies con predominio de los géneros *Leptolyngbya*, *Nostoc* y *Scytonema*. En tanto, en el estudio realizado a lo largo de gradientes altitudinales (3.700-5.970 m) por Řeháková et al. (2011), en las montañas secas de Ladakh (Tibet), se determinaron 28 géneros con predominio de *Phormidium* sp. y *Microcoleus vaginatus*. En la Provincia de San Luis (Argentina), en el trabajo realizado por Manrique et al. (2013), se identificaron 14 taxones de cianobacterias: 4 especies de *Phormidium*, 3 de *Nostoc*, 1 de *Oscillatoria*, *Anabaena*,

*Calothrix*, *Chroococcus*, *Mastogocladus*, *Scytonema* y *Xenococcus*; la asociación de la riqueza específica de cianobacterias, en este caso, se realizó con las diferentes especies de cactus que habitan en el sitio estudiado siendo el género *Oscillatoria* el que estuvo presente en todos los casos.

A continuación se presenta una breve descripción de las características y medidas morfométricas de las especies identificadas.

Orden: Oscillatoriales

Familia: Coleofasciculaceae

Nombre científico: *Geitlerinema tenuius* (Stockmayer) Anagnostidis

Descripción: Filamentos con movimientos ondulantes y en el extremo en forma de abanico, muy delgado y de color azul verde claro. Células no constrictas que poseen un contenido homogéneo. De 2-3 µm de ancho por 2,5-4,1 µm de largo. Célula apical cónica y con el extremo agudo. No se observa vaina. (ver Fig. 3.a)

Familia: Oscillatoriaceae

Nombre científico: *Lyngbya* sp.

Descripción: Filamentos largos con células más anchas que largas (3 a 4 veces más anchas que largas). Ancho 16 µm aproximadamente por 4,10 µm de largo. Color verde azulado amarillento. Contenido celular homogéneo. Células apical redondeada. Vaina oscura y fina, pegada al filamento (menor a 0,5 µm). Con caliptra en la célula apical (ver Fig. 3.b).

Descripción: Filamento de color verde azulado intenso, fino. La división entre las células no presenta constricciones. Célula apical redondeada. Con vaina fina, no lamelada, hialina menor a 1 µm de ancho. Células más anchas que larga: 12 µm de ancho y 4,2 µm de largo. Se observan gránulos finos distribuidos de manera regular. Sin caliptra en las células de los extremos.

Nombre científico: *Oscillatoria limosa* Agardh ex Gomont

Descripción: Filamentos rectos y largos (3-4 mm) o muy poco curvados, con células notablemente más anchas que largas. Color verde oliváceo. Posee movimientos oscilantes suaves. Células no constrictas y finamente granulada. De 12,2-14 µm de ancho y 4-5 µm de largo. Las células apicales son más cortas (3 µm), no capitada y redondeada. Con vaina coloreada.

Nombre científico: *Oscillatoria rupicola* (Hansging) Hansging ex Forti

Descripción: Filamentos rectos o levemente curvos que forman pequeños grupos o "matas". De color verde azulado oscuro. Bordes redondeados en las células de los extremos. Las células siempre son más cortas que anchas: Ancho: 6 µm y de largo 2,5 µm. Muy móvil.

Nombre científico: *Oscillatoria subbrevis* Schmidle

Descripción: Filamentos solitarios casi rectos, a veces curvos. Células más anchas que largas: 10,5-12 µm de ancho y menor a 3 µm de largo. Las células de los extremos son redondeadas sin caliptra (ver Fig. 3.e).

Nombre científico: *Phormidium aerugineo-caeruleum* (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek

Descripción: Filamento mucilaginoso y grueso que se distingue en el cultivo de las restantes especies. Células más o menos isodiamétricas, de 6 µm de ancho y 7-8 µm de largo, no constrictas con interior levemente granuloso. La vaina es fina, firme, no lamelada y coloreada, sobresale del filamento. Célula apical redondeada y no capitada.

Nombre científico: *Phormidium ambiguum* Gomont

Descripción: Filamentos color azul verdoso brillante, alargados y algo enredados de 5 µm de ancho aproximadamente. Posee una vaina firme y fina adosada al filamento que en general sobresale en los extremos. Las células son levemente más anchas que largas: ancho 4,1-5 µm y largo 4,1 µm, levemente constrictas. Extremos redondeados, sin caliptra y contenido celular homogéneo no granular.

Nombre científico: *Phormidium amoenum* Kützing ex Anagnostidis & Kőmárek

Descripción: Filamentos rectos a levemente curvos. Células vegetativas más anchas que larga: 4 µm de ancho por 2,5-3,1 µm de largo. Se distinguen constricciones muy delicadas entre las células. No se observan granulaciones. La célula apical capitada y es aproximadamente cónica y el doble de larga que el resto de las células. Color verde muy tenue con bordes bien nítidos en toda su extensión.

Nombre científico: *Phormidium chlorinum* (Kützing ex Gomont) Umezaki & Watanabe

Descripción: Filamentos solitarios. No se observa vaina. De color verde amarillento claro. Célula apical roma a redondeada. Células isodiamétricas no constrictas y

TABLA 1. LISTA DE ESPECIES DE CIANOBACTERIAS EDÁFICAS EN UN RELICTO DE MONTE NATIVO.

	Familia	Especie	
No Heterocistadas	Coleofasciculaceae	<i>Geitlerinema tenuius</i> (Stockmayer) Anagnostidis	
		<i>Lyngbya</i> sp.	
		<i>Lyngbya truncicola</i> Ghose	
		<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont	
		<i>Oscillatoria rupicola</i> (Hansging) Hansging ex Forti	
		<i>Oscillatoria subbrevis</i> Schmidle	
		<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i> (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek	
	Oscillatoriaceae	<i>Phormidium ambiguum</i> Gomont	
		<i>Phormidium amoenum</i> Kützing ex Anagnostidis & Kőmárek	
		<i>Phormidium chlorinum</i> (Kützing ex Gomont) Umezaki & Watanabe	
		<i>Phormidium carium</i> Gomont ex Gomont.	
		<i>Phormidium crowanii</i> Gomont	
		<i>Phormidium retzii</i> Kützing ex Gomont	
		<i>Phormidium subuliforme</i> (Kützing ex Gomont) Anagnostidis & Kőmárek	
Leptolyngbyaceae		<i>Leptolyngbya</i> sp.	
		<i>Leptolyngbya foveolaria</i> (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek	
		<i>Leptolyngbya fragilis</i> (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek	
		<i>Leptolyngbya tenuis</i> (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek	
	Nostocaceae		<i>Cylindrospermum majus</i> Kützing ex Bornet & Flahault
			<i>Cylindrospermum muscicola</i> Kützing ex Bornet & Flahault
		<i>Nostoc calcicola</i> Brébisson ex Bornet & Flahault	
		<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet & Flahault	
		<i>Nostoc muscorum</i> C. Agardh ex Bornet & Flahault	
Rivulariaceae	<i>Calothrix clavata</i> G.S.West		

Nombre científico: *Lyngbya truncicola* Ghose

aproximadamente cuadráticas 1 vez y media más largas que anchas (8,18  $\mu\text{m}$  por 6  $\mu\text{m}$ ). Con movilidad. Las células apicales son de dimensiones similares a las restantes, levemente redondeada (ver Fig. 3.f).

Nombre científico: *Phormidium corium* Gomont ex Gomont

Descripción: Filamentos largos, a veces levemente curvos, se suelen observar matas densamente enredadas. Las células de aproximadamente de 4,1-5  $\mu\text{m}$  de ancho por 5-6  $\mu\text{m}$  de largo, más o menos isodiamétricas. Célula apical casi cónica y más larga que las restantes (hasta 10  $\mu\text{m}$ ). Color verde azulado con bordes más oscuros. La vaina es delgada y coloreada sobresale del extremo del filamento (ver Fig. 3.c).

Nombre científico: *Phormidium crouanii* Gomont

Descripción: Filamentos delgados y levemente curvos, de color verde azulado. Célula de 8,18 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho por 6  $\mu\text{m}$  de largo. Células vegetativas cúbicas y célula apical de forma aproximadamente cónica. Vaina fina y difluente.

Nombre científico: *Phormidium retzii* Kützing ex Gomont

Descripción: Filamentos con vaina firme y delgada, aproximadamente rectos. Células azules verdosas, no constrictas y aproximadamente isodiamétricas: ancho aproximado 7-9  $\mu\text{m}$  de ancho por 6-7  $\mu\text{m}$  de largo. La célula de los extremos son más larga que las restantes de forma redondeada a roma (8  $\mu\text{m}$  de largo) y sin caliptra.

Nombre científico: *Phormidium subuliforme* (Kützing ex Gomont) Anagnostidis & Kőmárek

Descripción: Filamentos rectos, corto y sin vaina visible. Células más cortas que anchas de aproximadamente 6  $\mu\text{m}$  de ancho por 4,10  $\mu\text{m}$  de largo. Las células poseen un contenido homogéneo, verde azulado pálido a veces casi amarillento. El filamento conserva aproximadamente iguales dimensiones en todo su largo. Células apicales, atenuadas levemente redondeadas, sin caliptra y no capitadas, se las observa más larga que las restantes (6-7  $\mu\text{m}$  de largo). Con paredes no constrictas.

Orden: Synechococcales

Familia: Leptolyngbyaceae

Nombre científico: *Leptolyngbya* sp.

Descripción: Filamentos muy delgados y rectos con vaina poco visible. Color verde azulado. Células con constricciones bien distintivas y de contenido homogéneo. Las células vegetativas son aproximadamente tan cortas como anchas (1,8  $\mu\text{m}$  de largo por 1,5  $\mu\text{m}$  de ancho). Las células se van acortando desde la parte media del filamento hacia los extremos siendo las células de los extremos más corta y con final redondeado.

Nombre científico: *Leptolyngbya foveolaria* (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek

Descripción: Filamentos curvos, delgados y con extremos redondeadas, a veces se observan en matas enredadas. De color verde azulado oscuro. La vaina fina, firme y pegada al filamento. Células de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$  de ancho y 2  $\mu\text{m}$  de largo, claramente constrictas, isodiamétricas y el contenido celular con finos gránulos distribuidos de manera uniforme.

Nombre científico: *Leptolyngbya fragilis* (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek

Descripción: Filamentos muy delgados de color azul verdoso, aparecen enredados y en varias capas. La vaina es delgada, difluente en los extremos. El ancho de las células es de 1,5  $\mu\text{m}$  y el largo es inferior a 3  $\mu\text{m}$ . La célula apical es redondeada y más cortas que las restantes. Se pueden observar todas las células con constricciones bien marcadas (ver Fig. 3.d). Se presenta comúnmente en forma de "matas" asociadas a las colonias de *Nostoc* sp.

Nombre científico: *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis & Kőmárek

Descripción: Filamento largos y casi rectos, a veces con aspecto enmarañado; de color verde azulado pálido y finos. En los extremos la vaina es difluente e incolora. Células más largas que anchas: 1,8-2  $\mu\text{m}$  de ancho y 7  $\mu\text{m}$  de largo, posee un interior homogéneo. La célula terminal es de forma cónica y elongada y más corta que las restantes (1,5  $\mu\text{m}$  de largo) y se curva en el extremo.

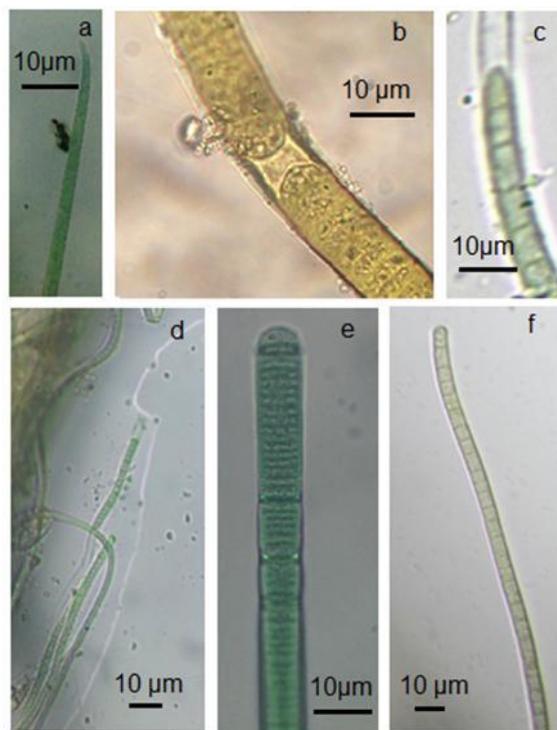


Fig. 3. Cianobacteria: a- *Geitlerinema tenuius*; b- *Lyngbya* sp.; c- *Phormidium corium*; d- *Leptolyngbya fragilis*; e- *Oscillatoria subbrevis*; f- *Phormidium chlorinum*.

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

Nombre científico: *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault

Descripción: Posee tricomas de 4-5  $\mu\text{m}$  de ancho de color verdeazulado claro. Las células vegetativas casi cilíndricas, más largas que anchas (6  $\mu\text{m}$  de largo y 4,10  $\mu\text{m}$  ancho) a veces con finos gránulos dispersos y el contenido celular de color pálido azul verdoso, con constricciones en las paredes transversales. Los heterocistos de forma ovoides (6-8  $\mu\text{m}$  de largo y 4,5-5  $\mu\text{m}$  de ancho) de posición terminal, desarrollándose en ambos extremos del tricoma. Los

acinetos se ubican adyacentes a los heterocistos, solitarios o formando filas; poseen forma oval; de aproximadamente 16,4-20  $\mu\text{m}$  de largo y ancho 10-12,3  $\mu\text{m}$ .

Nombre científico: *Cylindrospermum muscicola* Kützing ex Bornet & Flahault

Descripción: Posee un tricoma de 3,5-4,8  $\mu\text{m}$  de ancho de color verde azulado claro. Las células, aproximadamente cúbicas de 3-6  $\mu\text{m}$  de largo, con constricciones en las paredes transversales. Los heterocistos se ubican en uno de los extremos, con forma ovoide de 5,2 a 7,2  $\mu\text{m}$  de ancho y de 8,8  $\mu\text{m}$  de largo. El acinetos tiene forma oval de 8-12  $\mu\text{m}$  de ancho y 12-18  $\mu\text{m}$  de largo, coloración marrón amarillento oscuro, ubicado entre una célula vegetativa y el heterocisto. Es común observar los acinetos aislados acompañando o no a los heterocistos (ver Fig. 4.d).

Nombre científico: *Nostoc calcicola* Brébisson ex Bornet & Flahault.

Descripción: Los filamentos casi rectos y cortos, tricoma de 2-3  $\mu\text{m}$  de ancho, las células vegetativas de color verde azulado pálido, de forma subsféricas de 2,5-4,1  $\mu\text{m}$  de ancho, coloración amarillenta sobre la membrana. Los heterocistos toman posición intercalar de 4,1 a 5  $\mu\text{m}$  de ancho y coloración más clara que el resto de las células. Vaina poco distintiva (ver Fig. 4.c).

Nombre científico: *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet & Flahault

Descripción: Los filamentos son flexuosos y los tricomas poseen 5-6  $\mu\text{m}$  de ancho. La vaina es gruesa color marrón amarillenta. Las células con forma de barril o casi esféricas de 3,2-5,1  $\mu\text{m}$  de diámetro de coloración verde azulado oscuro. Los heterocistos miden entre 6-7  $\mu\text{m}$  de ancho y de coloración más clara que las células vegetativas. Los acinetos poseen dimensiones similares a las células vegetativas. Forman colonias que son inicialmente globosas o casi esféricas, cuando maduran adquieren forma elipsoidal, miden entre 60 y 130  $\mu\text{m}$  de diámetro (ver Fig. 4.b).

Nombre científico: *Nostoc muscorum* C. Agardh ex Bornet & Flahault

Descripción: Colonias de 2 a 5 cm de diámetro, filamentos enredados con vaina de color marrón claro. El tricoma es de 4-5  $\mu\text{m}$  de ancho. Las células vegetativas tienen forma de tonel con extremos aplanados, miden entre 2,5-5  $\mu\text{m}$  de diámetro, de color verde azulado. Los heterocistos intercalares, son aproximadamente esféricos y miden entre 6-9  $\mu\text{m}$ , poseen color amarillo suave. Los acinetos son ovoides de 5-7  $\mu\text{m}$  de ancho y 7-10  $\mu\text{m}$  de largo, a veces se presentan en filas de 5 o más (ver Fig. 4.a).

Familia: Rivulariaceae

Nombre científico: *Calothrix clavata* G.S.West

Descripción: Filamento simple posee hasta 100  $\mu\text{m}$  de largo. El tricoma mide en la porción basal 7-8  $\mu\text{m}$  de ancho, cuando está maduro se adelgaza desde la base, donde lleva un heterocisto en posición terminal. Las células vegetativas tienen forma de disco color verde azulado oscuro, en la base miden a 6  $\mu\text{m}$  de ancho, en la parte media 4,1  $\mu\text{m}$  de ancho y en porción final las células son aproximadamente de 2  $\mu\text{m}$ . El heterocisto se ubica en posición terminal, semiesférico tiene 6-7  $\mu\text{m}$  de ancho con contenido celular

homogéneo y más claro que las restantes células. La vaina es incolora (ver Fig. 4.e).

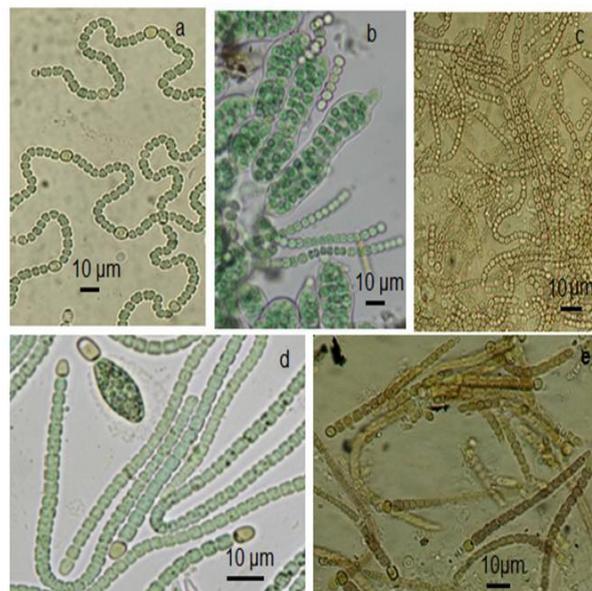


Fig. 4. Cianobacteria: a- *Nostoc muscorum*; b- *Nostoc commune*; c- *Nostoc calcicola*; d- *Cylindrospermum muscicola*; e- *Calothrix clavata*.

### Desarrollo de las cianobacterias de suelo

Respecto al desarrollo de las cianobacterias, desde la primera semana de crecimiento se pudo observar la presencia de los géneros pertenecientes al grupo de las cianobacterias filamentosas No Heterocistadas (NH): *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium* y *Leptolyngbya*, con un porcentaje de frecuencia relativa bajo (16%), siendo luego dominantes, entre la tercera y sexta semana, con porcentajes entre 89 y 100% de Fr, respectivamente. Los géneros *Cylindrospermum*, *Calothrix* y *Nostoc*, del grupo heterocistadas, y considerando la condición de no desarrollo de heterocisto (SH), con la metodología aplicada fue posible identificar el inicio del desarrollo de estos géneros a partir de la segunda semana (17%), alcanzando el máximo porcentaje de frecuencia relativa a partir de la quinta y hasta séptima semana de cultivo (67 y 100%). De manera tardía, desde la quinta semana y con un porcentaje de frecuencia relativa baja (21%), se inicia el desarrollo de los heterocistos en las cianobacterias del grupo heterocistadas (HP), que aumentó de manera sostenida hasta alcanzar el 100% en la novena semana. En esta última semana, el grupo No Heterocistadas (NH) y Sin Heterocisto presente (SH) fueron reemplazadas claramente por las formas con Heterocistos Presentes (HP) de cianobacterias: *Cylindrospermum majus*, *Cylindrospermum muscicola*, *Nostoc calcicola*, *Nostoc commune*, *Nostoc muscorum*, *Calothrix clavata* (ver Tabla 2).

En relación a este reemplazo de especies observadas en nuestro trabajo, no se encontraron antecedentes sobre ensayos similares, pero estudios como el realizado por Sánchez *et al.* (2011) en suelos de campos arroceros, encontraron que la población de cianobacterias exhibió una evolución diferente, considerando los dos años de estudio: en el primer año se registraron 11 géneros y 10 en el segundo. Los géneros que estuvieron presentes fueron: *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Aphanocapsa*, *Chroococcus*,

*Gloeocapsa* y *Anabaena*. Por otra parte, a diferencia de nuestro trabajo, donde no se identificaron especies unicelulares, las especies dominantes fueron géneros de cianobacterias unicelulares *Aphanocapsa*, *Chroococcus* y *Gloeocapsa*; en este estudio, el reemplazo de las especies de cianobacterias en el tiempo estaría relacionado con los diferentes estadios fenológicos de los cultivos de arroz. En otro estudio, también en suelos de campo de arroz, realizado por Singh et al. (2015) se identificaron 32 especies y en la sucesión en relación al tiempo, se observó que al inicio del cultivo se determinaron las cianobacterias filamentosas no heterocistadas *Microcoleus sociatus*, *Lyngbya major*, *Phormidium truncicola* y *Oscillatoria subbrevis*. En un segundo estadio se observaron consorcios de cianobacterias no heterocistadas y heterocistadas como *Oscillatoria subbrevis*, *Nostoc muscorum*, *Anabaena oryzae*, *A. doliolum*, *Cylindrospermum sphaerica*. El crecimiento de heterocistadas, *Nostoc muscorum*, *Anabaena doliolum*, *Cylindrospermum stagnale*, *Haplosiphon welwitschii* y *Scytonema* sp., se observó en los suelos post cosecha. Algunas especies de *Phormidium* y *Microcoleus*, no fijadoras, se entremezclaron con las formas heterocistadas de cianobacterias dominantes de ese período.

**TABLA 2.** PORCENTAJE DE FRECUENCIA RELATIVA (%FR) DE LOS GRUPOS ESTUDIADOS. REFERENCIAS: NH: NO HETEROCISTADAS; SH: HETEROCISTADAS SIN HETEROCISTO PRESENTE; HP: HETEROCISTADAS CON HETEROCISTO PRESENTE.

Semana de crecimiento	NH %Fr	SH %Fr	HP %Fr
1	16	0	0
2	42	17	0
3	89	22	0
4	100	36	0
5	100	67	21
6	100	89	67
7	89	100	78
8	67	56	89
9	11	9	100

Los antecedentes y nuestros resultados permitirían considerar que la estabilidad estructural del suelo, de este relicto de monte, se vería favorecida por la presencia de las secreciones extracelulares de las cianobacterias filamentosas (Ansín et al., 2003; Tieying et al., 2005; Fernández Belmonte y Polizzoto, 2006; Nisha et al., 2007; Manrique et al., 2012). En este sentido, se observó una mayor riqueza específica del género *Phormidium* donde la vaina de mucopolisacáridos, que este género posee, desempeña un rol activo en la cementación de las partículas de suelo, contribuyendo a la agregación y aumentando el tamaño de las mismas (Ansín et al., 2003; Tieying et al. 2005; Nisha et al., 2007; Fernández Belmonte et al., 2008). Por otra parte, es conocido que en un suelo con ausencia de manejo agrícola y buena disponibilidad de nitrógeno, como el Argiustol típico estudiado (Soil Survey Staff, 2014), favorece el desarrollo de este grupo de cianobacterias (Heath et al., 2015). Se destaca que este taxón raramente es solitario, en general es común observarlo en consorcio con otras especies, lo cual es verificado en nuestro trabajo. Se los encuentra sobre diferentes sustratos: suelo, rocas

húmedas, barro, plantas acuáticas, piedras y bosques. También existen varias especies del género que habitan en condiciones extremas, como manantiales termales y suelos desérticos (Kömerek y Anagnostidis, 2005). Su distribución cosmopolita se relaciona con la capacidad de adaptación rápida a los cambios ambientales, como condiciones de pH, disponibilidad de nutrientes y humedad (Whitton y Potts 2000; Rindi, 2007).

## CONCLUSIONES

En el suelo del relicto de monte nativo estudiado se identificaron 24 especies, de las cuales 14 especies corresponden al Orden Oscillatoriales (Familias: Coleofasciculaceae y Oscillatoriaceae), 6 especies del Orden Nostocales (Familias: Nostocaceae y Rivulariaceae) y 4 del Orden Synechococcales (Familia: Leptolyngbyaceae). Los géneros: *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Leptolyngbya* y *Phormidium* se desarrollaron entre la primera y quinta semana, mientras que los géneros de las cianobacterias heterocistadas *Cylindrospermum* y *Nostoc* se desarrollaron de manera tardía entre la quinta y la novena semana de crecimiento.

Esta primera aproximación al conocimiento de las cianobacterias edáficas que se desarrollan en los relictos de bosque nativos de la Provincia de Córdoba, nos permiten reconocer algunas futuras líneas de investigación, en relación a la necesidad de ampliar el número de sitios de muestreo, reunir información sobre las características fisicoquímicas y químicas de los sustratos donde se desarrollan, avanzar en el estudio de las particularidades ambientales relacionadas con su crecimiento y la correlación con las respuestas a poblaciones de vegetales o a diferentes uso del suelo, así como sus futuras aplicaciones en el área de la agricultura y procesos de biorremediación.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el aporte de la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SECyT-UNC), y con el apoyo del Área de Proyectos Especiales, Departamento de Diversidad Biológica y Ecología (FCEfyN-UNC).

## REFERENCIAS

- Alwathnani H. y Johansen J. R. (2011), "Cyanobacteria in Soils from a Mojave Desert Ecosystem", *Monographs of the Western North American Naturalist* 5(1):71-89
- Ansín O., Deregibus A., Lanfranco J. y Ringuet J. (2003). "Rol del alga *Nostoc commune* en la promoción de la cobertura vegetal y el valor forrajero de pastizales alcalinos de la Pampa deprimida bonaerense." En *Microbiología Agrícola, un aporte de la investigación Argentina, 1° Edición*, pp. 59-65. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero.
- Brown A., Martínez Ortiz U., Acerbi M. y Corcuera J. (2006). *La Situación Ambiental Argentina*. Buenos Aires, Editorial Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Brussaard L., De Ruiter P. y Brown G. (2007). "Soil biodiversity for agricultural sustainability", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 121(3):233-244.
- Campanella L., Cubadda F., Sammartino M.P. y Saoncella A. (2000). "An algal biosensor for the monitoring of water toxicity in estuarine environments", *Water Research*, 35(1):69-76.

- [6] Casagrande G.A. y Vergara T. (1996), "Características climáticas de la región." En *Labranzas en la región Semiárida Argentina*, pp. 11-17. Ediciones INTA, San Luis.
- [7] Clausen A. M., Ferrer M. E. y Formica M. B. (2008). *Situación de los Recursos Fitogenéticos en la Argentina. II Informe Nacional 1996-2006*. Argentina, Editorial INTA.
- [8] Daga I. C. y Pierotto M. J. (2011), "Cianobacterias del embalse San Roque (Córdoba, Argentina)", *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 46(3-4):227-234.
- [9] Dorador C., Vila I., Imhoff J.F. y Witzel K.P. (2008), "Cyanobacterial diversity in Salar de Huasco, a high altitude saline wetland in northern Chile: an example of geographical dispersion?", *FEMS Microbiology Ecology*, 64(3):419-432.
- [10] Dos Santos P., Fang Z., Mason S., Setubal J. y Dixon R. (2012), "Distribution of nitrogen fixation and nitrogenase – like sequences amongst microbial genomes", *BMC Genomics*, 13:162-173.
- [11] Falchini L., Parvoli E. y Tomaselli R. (1996), "Effect of *Nostoc* (Cyanobacteria) inoculation on the structure and stability of clay soils", *Biol Fertil Soils*, 23:346-352.
- [12] Fernández Belmonte M.C. y Polizzoto J. (2006), "Efecto de algas edáficas en la agregación de suelos en una zona cercana a Villa Mercedes", en *Actas del XX Congreso Argentino de Ciencia del Suelo*, Salta, Argentina. pp. 201-204
- [13] Fernández Belmonte M.C., Manrique M., Martínez Carretero A., Dalmaso C., Carosio A. y Andersen Junqueras M.J. (2008), "Relevamiento de la ficoflora edáfica autóctona en la Reserva de Llanquanelo (Mendoza)", en *Actas del XXI Congreso Argentino de Ciencia del Suelo*, San Luis, Argentina. pp. 124-126
- [14] Halperin D.R., Mendoza M.L. y Zulpa De Caire, G. (1973), "Obtención de Cultivos Axénicos de Algas Azules (Cyanophyta)", *Physis*, 32(84):67-84.
- [15] Haruyuki F., Sho F. y Mitsuhiro I. (2003), "Effect of salty crust on soil albedo", *Agricultural and Forest Meteorology*, 118:125–135.
- [16] Heath M. W., Wood S. A., Brasell K. A., Young R. G. y Ryan K. G. (2015), "Development of Habitat Suitability Criteria and In-Stream Habitat Assessment for the Benthic Cyanobacteria *Phormidium*", *River Research Applications*, 31:98–108.
- [17] INTA (2015), *Carta de Suelos de la República Argentina. Mapa de Suelos Córdoba 2003, Hoja 3163-13*, Jesús María, Ediciones INTA.
- [18] Jarsún B., Gorgas J. A., Zamora E., Bosnero H., Lovera E., Ravelo A. y Tassile J. L. (2003), *Los Suelos*. Córdoba, Editorial Agencia Córdoba Ambiente.
- [19] Jha M.N., Prasad A.N., Sharma S.G. y Bharati R.C. (2001), "Effects of fertilization rate and crop rotation on diazotrophic cyanobacteria in paddy field", *World Journal Microbiology Biotechnology*, 17(5):463-468.
- [20] Knoll A. H. (1985), "The distribution and evolution of microbial life in the late Proterozoic era," *Annual Review of Microbiology*, 39: 391-417.
- [21] Kőmárek J. y Anagnostidis K. (1998) *Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales*, Jena, Gustav Fischer Publishers.
- [22] Kőmárek J. y Anagnostidis K. (2005) *Cyanoprokaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales*, Heidelberg, Elsevier/Spektrum Publishers.
- [23] Kőmárek J. y Hauer T. (2012), "CyanoDB.cz - On-line database of cyanobacterial genera", En *Word-wide electronic publication*, University of South Bohemia & Institute of Botany AS CR, České Budějovice and Třeboň. <http://www.cyanodb.cz/>
- [24] Kőmárek J., Sant'Anna C.L., Bohunická M., Mareš J., Hentschke G. S., Rigonato J. y Fiore M.F. (2013), "Phenotype diversity and phylogeny of selected *Scytonema*-species (Cyanoprokaryota) from SE Brazil", *Fottea*, 13(2):173-200.
- [25] Kőmárek J., Kaštovský J., Mareš J. y Johansen J.R. (2014), "Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) using a polyphasic approach", *Preslia*, 86(4):295-235.
- [26] Lewis J. P. y Collantes M. B. (1973), "El Espinal Periestépico", *Ciencia & Investigación*, 29:360-377.
- [27] Lin C.S. y Wu J.T. (2013), "Environmental factors affecting the diversity and abundance of soil photomicrobes in arid lands of subtropical Taiwan", *Geomicrobiology Journal*, 31:350-359.
- [28] Manrique M., Fernández Belmonte M.C. y Junqueras M.J. (2012), "Algalcrusts in Salinas del Bebedero (San Luis, Argentina)", *Biocell*, 36(3):a99-a160.
- [29] Manrique M., Fernández Belmonte M.C., Carosio C., Chiofalo S. y Junqueras M.J. (2013), "Biodermas algales asociadas a cactáceas de Lomas Blancas. San Luis", en *Actas de Congreso Restauración Ecológica de la Diagonal Árida de la Argentina*, Buenos Aires, Argentina. pp. 38-48.
- [30] Mitschke J., Vioque A., Haas F., Hess, W.R. y Muro-Pastor A.M. (2011), "Dynamics of transcriptional start site selection during nitrogen stress-induced cell differentiation in *Anabaena* sp", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. pp. 20130-20135.
- [31] Muro-Pastor A.M., y Hess W.R. (2012), "Heterocyst differentiation: from single mutants to global approaches", *Trends Microbiology*, 20:548-557.
- [32] Muro-Pastor A.M. (2014), "The heterocyst-specific NsiR1 small RNA is an early marker of cell differentiation in cyanobacterial filaments", *MBio*, 5(3):1079-14.
- [33] Nisha R., Kaushik A. y Kaushik C.P. (2007), "Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semiarid soil", *Geoderma*, 138:49-56.
- [34] Noy-Meir I. (2006), "Historia fotográfica de una colonia agropecuaria en el monte entrerriano." en *Actas de las Primeras Jornadas Nacionales de Protección y Manejo Sustentable del Bosque Nativo*, Entre Ríos, Argentina. pp. 28-36.
- [35] Prasanna R y Nayak S. (2007), "Influence of diverse rice soil ecologies on cyanobacterial diversity and abundance", *Wetlands Ecol Manage*, 15(2):127-134.
- [36] Quesada A. y Fernández-Valiente E. (1996), "Relationship between abundance of N<sub>2</sub>-fixing cyanobacteria and environmental features of Spanish rice fields", *Microbial Ecology*, 32(1):59-71.
- [37] Řeháková K., Chlumská, Z. y Doležal J. (2011), "Soil Cyanobacterial and Microalgal Diversity in Dry Mountains of Ladakh, NW Himalaya, as Related to Site, Altitude, and Vegetation", *Microbial Ecology*, 62(2):337-346.
- [38] Rindi F. (2007). "Diversity, distribution and ecology of green algae and cyanobacteria in urban habitats". En *Algae and Cyanobacteria in extreme environments*, pp. 631-638. Springer, New York.
- [39] Rippka R., Deruelles J., Waterbury J.B., Herdman M. y Stanier R.Y. (1979), "Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria", *Journal of General Microbiology*, 111:1-61.
- [40] Sánchez, C. I., Benintende, S. M. y Benintende, M. C. (2011), "Cianobacterias en diferentes estadios fenológicos del cultivo de arroz en Entre Ríos (Argentina)", *Ciencias del Suelo*, 29(2):181-189
- [41] Singh R., Singh R.P. y Singh D.V. (2015), "Distribution of cyanobacteria (blue-green algae) in rice fields of Varanasi", *International Journal of Advanced Research*, 3(8):1055-1060
- [42] Soil Survey Staff. (2014), *Claves para la Taxonomía de Suelos, 12th* Washington, DC., Editorial USDA-Natural Resources Conservation Service.
- [43] Stanier R. Y. y Cohen-Bazire G. (1977), "Phototrophic prokaryotes: the cyanobacteria", *Annual Review of Microbiology*, 31:225-274.
- [44] Stewart W. D. P. (1978), "Nitrogen-fixing cyanobacteria and their associations with eukariotic plants", *Endeavour*, 2(4):170-179.
- [45] Tieying S.; Lotta M.; Torsten E.; Weiwen Z. y Rasmussen U. (2005), "Biodiversity and seasonal variation of the cyanobacterial assemblage in a rice paddy field in Fujian, China", *FEMS Microbiology Ecology*, 54:131-140.
- [46] Thornthwaite C. W. (1948), "An approach toward a rational classification of climate", *Geographical Review*, 8(1):55-94.
- [47] Un Y. J. y Kamppbell D.H. (2003), "Monitoring chlorophyll one as a measure of algae in the lake Texonoma marins", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 70:606-611.
- [48] Verdisson S. Couderchet M. y Venet G. (2001), "Effects of procymidone, fludioxonil and pyrimethanil on two non traquet aquatic plants", *Chemosphere*, 44(3):467-474.
- [49] Verzino G. E. y Joseau M. J. (2005), *El Banco Nacional de Germoplasma de Prosopis, Conservación de recursos forestales*

*nativos en Argentina*, Córdoba, Ediciones Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

- [50] Watanabe T. y Watanabe M. (1959), “Transduction of streptomycin resistance in *Salmonella typhimurium*”, *Journal of General Microbiology*, 21:16-29.
- [51] Whitton B.A. y Potts M. (2000), *The Ecology of Cyanobacteria*, Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- [52] Whitton B. y Potts M. (2006). “Introduction to cyanobacteria.” En *The ecology of cyanobacteria*. pp. 281-306. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- [53] Wong P.K. (2000), “Effects of 2,4-D glyphosate and paraquat on growth, photosynthesis and chlorophyll-a synthesis of *Scenedesmus quadricauda* Berb614”, *Chemosphere*, 41:177-182.
- [54] Zak M. y Cabido M. (2004), “Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future?”, *Biological Conservation*. 120:589-598.
- [55] Zak M. (2008), “Patrones espaciales de la vegetación de la provincia de Córdoba. Análisis complementario de información satelital y datos de campo.” Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba.
- [56] Zulpa De Caire G.; Siciliano M.F.; Zaccaro M.C.; Storni M. y Palma M. (2008), “Effect of Cyanobacteria on the Soil Microflora Activity and Maize Remains Degradation in a Culture Chamber Experiment”, *International Journal of Agriculture & biology*, 10(4):388–392.