



Fundación
Miguel Lillo
Tucumán
Argentina

doi

Contribución al conocimiento de cianobacterias edáficas de la Cordillera de San Juan, Argentina

Contribution to the knowledge of soil cyanobacteria from the San Juan Mountains, Argentina

Gudiño, Gustavo^{1*}; I. Claudia Daga²; Raquel Murialdo³

¹ Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Área de Contaminación y Bioindicadores. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Av. Vélez Sarsfield 299, (5000) Córdoba, Argentina.

² Departamento Diversidad Biológica y Ecología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Av. Vélez Sarsfield 299, (5000) Córdoba, Argentina.

³ Departamento Producción, Gestión y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Av. Vélez Sarsfield 299, (5000) Córdoba, Argentina.

* Autor correspondiente: <gustavo.gudino@unc.edu.ar>

Resumen

Las cianobacterias constituyen un grupo altamente diverso de organismos procarióticos fotoautótrofos pertenecientes al dominio Bacteria. Su notable capacidad de adaptación morfológica y fisiológica les permite colonizar una amplia variedad de ambientes, actuando como organismos pioneros. Son componentes fundamentales del suelo, especialmente en regiones áridas y semiáridas. El objetivo de este trabajo fue describir la comunidad de cianobacterias aisladas a partir de suelos de la Cordillera Frontal y la Depresión Rodeo–Calingasta, en la provincia de San Juan (Argentina), a lo largo de un gradiente altitudinal comprendido entre los 1500 y los 5000 m snm. Se tomaron muestras en distintos puntos de ese gradiente y se cultivaron en laboratorio durante un período de nueve semanas. En total, se identificaron 18 taxones, 13 (Rango 1), 11 (Rango 2) y 6 taxones (Rango 3). Las especies sin heterocitos fueron dominantes en los sitios de menor altitud (Rango 1), mientras que aquellas que presentaban heterocitos prevalecieron en altitudes mayores (Rangos 2 y 3). La riqueza de especies mostró una tendencia decreciente con el aumento de la altitud.

► Ref. bibliográfica: Gudiño, G.; Daga, I. C.; Murialdo, R. 2025. Contribución al conocimiento de cianobacterias edáficas de la Cordillera de San Juan, Argentina. *Lilloa* 62 (2): 633-644. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/2170>

► Recibido: 9 de junio 2025 – Aceptado: 18 de agosto 2025 – Publicado: 7 de noviembre 2025.

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

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



OPEN ACCESS

El presente estudio constituye un aporte al conocimiento de la biodiversidad de cianobacterias edáficas en ambientes de altura, siendo este trabajo el primer registro para la provincia de San Juan.

Palabras clave: Cianobacterias; ambientes de altura; suelo.

Abstract

Cyanobacteria are a highly diverse group of photoautotrophic prokaryotic organisms belonging to the Bacteria domain. Their remarkable morphological and physiological adaptability allows them to thrive in a wide variety of environments, acting as pioneer organisms. They are fundamental components of soil, especially in arid and semi-arid regions. This study aims to describe the cyanobacterial community isolated from soils in the Frontal Cordillera and the Rodeo–Calingasta Depression, in the province of San Juan (Argentina), along an altitudinal gradient ranging from 1,500 to 5,000 m asl. Soil samples were collected at different points of that gradient and cultivated in the laboratory for a period of nine weeks. A total of 18 taxa were identified: 13 taxa (Range 1), 11 (Range 2), and 6 (Range 3). Non-heterocystous species were dominant at lower altitudes (Range 1), whereas heterocyst-forming species prevailed at higher elevations (Ranges 2 and 3). Species richness decreased with altitude. This study contributes to the knowledge of soil cyanobacteria in high-altitude environments, representing the first record of its kind for the province of San Juan.

Keywords: Cyanobacteria; high-altitude environments; soil.

INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias constituyen un grupo altamente diverso de organismos procarióticos fotoautótrofos, ampliamente reconocidos por su capacidad para tolerar condiciones ambientales extremas, incluyendo la exposición a radiación ultravioleta, variaciones de temperatura, salinidad, desecación y la presencia de metales pesados (Rindi, 2007; Yadav *et al.*, 2022). Estos microorganismos desempeñan un papel ecológico clave en los suelos, particularmente en regiones áridas y semiáridas a nivel global. Su relevancia radica principalmente en la promoción de procesos como la formación de agregados del suelo y su estabilización frente a la erosión, contribuyendo además a mejorar la infiltración del agua de lluvia (Fernández Belmonte *et al.*, 2008; Manrique *et al.*, 2013; García-Llorente *et al.*, 2016).

Además de fijar dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera a través de la fotosíntesis, muchas cianobacterias tienen la capacidad de reducir el nitrógeno molecular (N₂) a formas asimilables por los seres vivos, incluyendo las plantas (Mayz-Figueroa, 2004; Aguilera *et al.*, 2018).

El objetivo de este trabajo fue describir las comunidades de cianobacterias aisladas de suelos de la región de la Cordillera Frontal y la Depresión Rodeo-Calingasta, en la provincia de San Juan, a altitudes comprendidas entre los 1550 y 5000 m snm. Hasta donde se tiene conocimiento, esta contribución representa el primer registro sobre la biodiversidad de cianobacterias edáficas de altura en dicha provincia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el departamento Iglesia, provincia de San Juan, Argentina. Se enmarca entre los 29°13' y 30°11' de latitud sur, y los 69°06' y 69°52' de longitud oeste (Fig. 1). Comprende formaciones de la Cordillera Frontal y la Depresión Rodeo-Calingasta, dentro de la subcuenca del río Jáchal, que pertenece a la cuenca del Desaguadero-Colorado. Su gradiente altitudinal varía entre 1.550 m snm en Rodeo y 5000 m snm en el Portezuelo de Conconta.

Desde el punto de vista fitogeográfico, el área se corresponde a tres provincias: Altoandina, Puna y Monte.

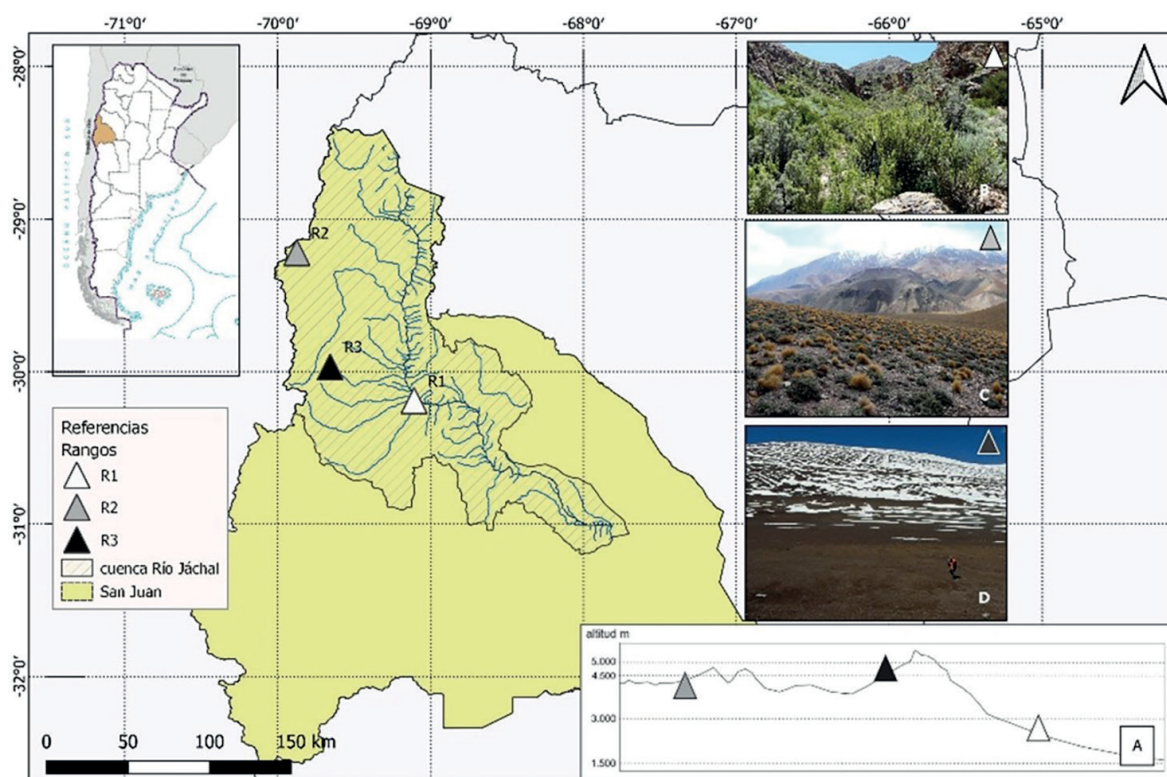


Fig. 1. Área de estudio. A) Perfil altitudinal. B) Imagen Rango 1. C) Imagen rango 2. D) Imagen Rango 3.

Fig. 1. Study area. A) Altitudinal profile. B) Range 1 Image. C) Range 2 Image. D) Range 3 Image.

Método de recolección de muestras, cultivo e identificación

Se recolectaron muestras simples de suelo superficial (0-5 cm de profundidad) por triplicado a lo largo de un gradiente altitudinal comprendido entre los 1500 m snm (Rodeo) y los 5000 m snm (Portezuelo de Conconta). La recolección se realizó utilizando un muestreador manual tipo “pico y tacho”, y se establecieron tres rangos altitudinales considerando la cobertura y composición vegetal característica de cada uno: Rango 1 (1500-3000 m snm), Rango 2 (3001-4500 m snm) y Rango 3 (4501-5000 m snm). Las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas y conservadas a 4 °C hasta su procesamiento en laboratorio.

Para el cultivo, se colocaron 10 g de suelo sin tamizar en cajas de Petri previamente esterilizadas. Cada caja fue regada con 15 ml de medio líquido Watanabe (1961) y colocada en una cámara de cultivo a 25 ± 2 °C, con fotoperíodo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad e intensidad luminosa de 4500 a 5000 lux (Halperin *et al.*, 1973; Rippka *et al.*, 1979).

Los cultivos fueron monitoreados semanalmente, desde el primer día y durante un período total de nueve semanas. En cada control, se extrajeron tres muestras al azar por caja, utilizando una malla cuadrículada regular de 1 cm² como guía. Las observaciones se realizaron con un microscopio óptico Leica CME 500, y la identificación de las cianobacterias se basó en las claves taxonómicas de Kőmárek y Anagnostidis (1998, 2005), Kőmárek (2013) y Kőmárek *et al.* (2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se determinaron 18 taxones (Fig. 2), Chroococcales (1), Synechococcales (4), Oscillatoriales (4) y Nostocales (9). En el Rango 1 se identificaron 13 especies, 11 especies para el Rango 2 y 6 para el Rango 3 (Tabla 1).

El número de taxones determinados en este estudio fue comparable con el reportado por Čapková *et al.* (2016) para el Himalaya occidental donde se observaron 15 especies entre los 4600 a 5900 m snm. En tanto, Choudhary y Singh (2013) determinaron 35 especies en el Himalaya oriental de la India, sin embargo, observaron que a partir de los 1500 m snm el número se redujo a 12 taxones, concluyendo que la riqueza disminuye con la altitud como resultado de la compleja influencia del tipo de vegetación, las propiedades del suelo y las condiciones climáticas (Quesada *et al.*, 1995, 1998).

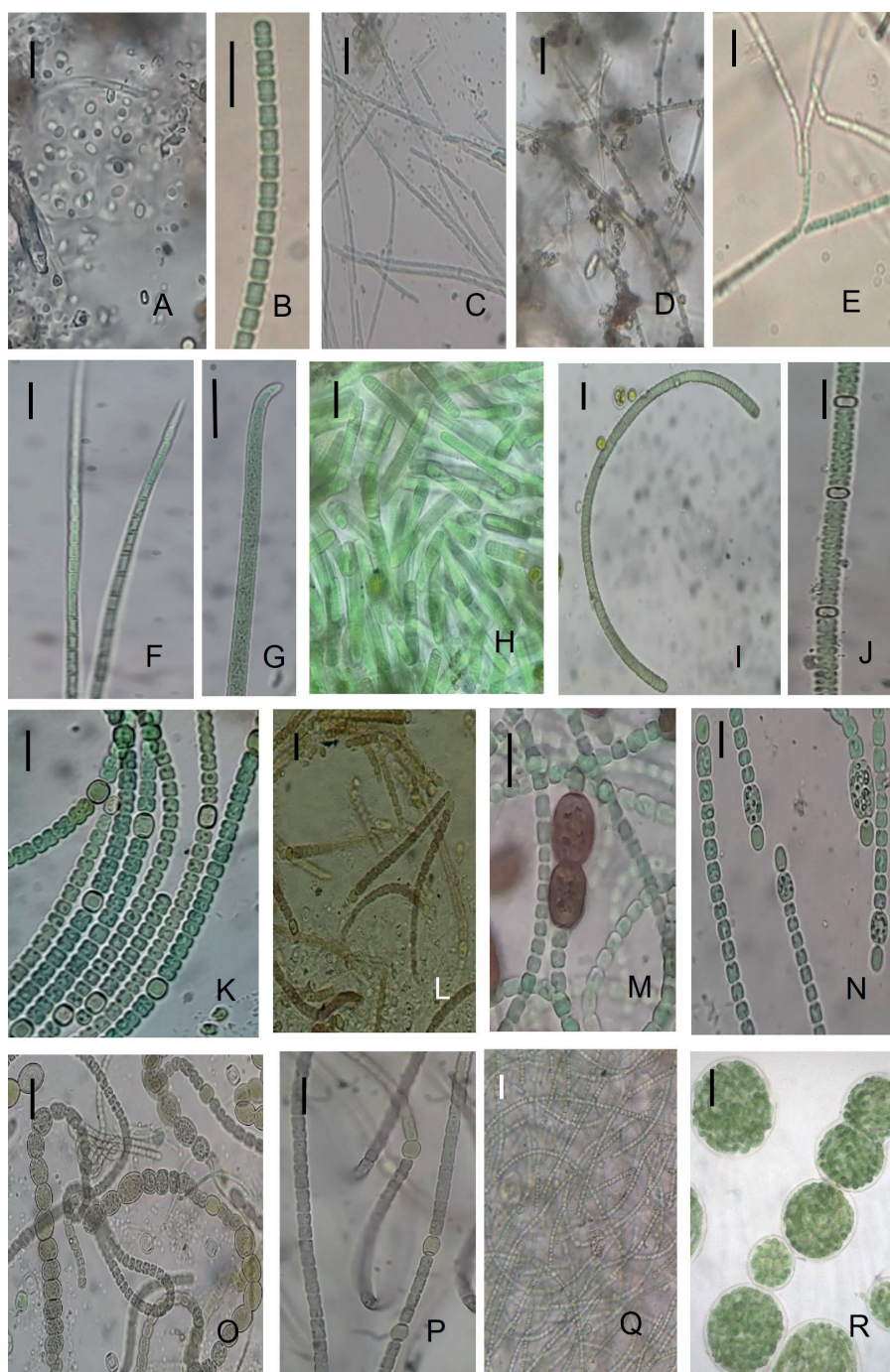


Fig. 2. A) *Gloeocapsa salina*. B) *Pseudoanabaena catenata*. C) *Leptolyngbya edaphica*. D) *Leptolyngbya tenuis*. E) *Leptolyngbya notata*. F) *Trichocoleus desertorum*. G) *Kamptonema formosum*. H) *Hormosilla pringsheimii*. I) *Crinalium epipsammum*. J) *Nodularia harveyana*. K) *Wollea salina*. L) *Calothrix clavata*. M) *Cylandrospermum catenatum*. N) *Cylandrospermum muscicola*. O) *Desmonostoc muscorum*. P) *Nostoc carneum*. Q) *Nostoc minutissimum*. R) *Nostoc commune*. Escala A-Q = 10 μ m, R= 50 μ m.

Fig. 2. A) *Gloeocapsa salina*. B) *Pseudoanabaena catenata*. C) *Leptolyngbya edaphica*. D) *Leptolyngbya tenuis*. E) *Leptolyngbya notata*. F) *Trichocoleus desertorum*. G) *Kamptonema formosum*. H) *Hormosilla pringsheimii*. I) *Crinalium epipsammum*. J) *Nodularia harveyana*. K) *Wollea salina*. L) *Calothrix clavata*. M) *Cylandrospermum catenatum*. N) *Cylandrospermum muscicola*. O) *Desmonostoc muscorum*. P) *Nostoc carneum*. Q) *Nostoc minutissimum*. R) *Nostoc commune*. Scale A-Q= 10 μ m, R= 50 μ m.

Tabla 1. Taxones identificados en los tres rangos de altura.**Table 1.** Taxa identified in the three altitudinal ranges.

Taxones determinados	Rango 1	Rango 2	Rango 3
Chroococcales			
<i>Gloeocapsa salina</i> Hansgirg		x	
Synechococcales			
<i>Pseudoanabaena catenata</i> Lauterborn	x		
<i>Leptolyngbya edaphica</i> (Hollerbach ex Elenkin) Anagnostidis et Kőmárek	x	x	
<i>Leptolyngbya notata</i> (Schmidle) Anagnostidis et Komarek	x	x	
<i>Leptolyngbya tenuis</i> (Gomont) Anagnostidis et Komarek	x	x	x
Oscillatoriales			
<i>Trichocoleus desertorum</i> Muhlsteinova, Johansen et Pietrasiak	x		x
<i>Kamptonema formosum</i> (Bory ex Gomont) Strunecký Kőmárek & J. Smarda	x		
<i>Hormosilla pringsheimii</i> Anagnostidis et Komarek	x		
<i>Crinalium epipsammum</i> De Winder, Stal et Mur	x		
Nostocales			
<i>Calothrix clavata</i> G.S.West			x
<i>Wolleea salina</i> Chatchawan Kozlíková, Kőmárek et Kaštovský		x	
<i>Cylindrospermum catenatum</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	x		
<i>Cylindrospermum muscicola</i> Kützing ex Bornet et Flahault	x	x	x
<i>Nodularia harveyana</i> Thuret ex Bornet et Flahault	x	x	
<i>Nostoc commune</i> (Vaucher) ex Bornet & Flahault	x	x	x
<i>Nostoc carneum</i> (Lyngbye) Agardh ex Bornet et Flahault		x	x
<i>Nostoc minutissimum</i> Kützing ex Bornet et Flahault		x	
<i>Desmonostoc muscorum</i> (Bornet & Flahault) Hrouzek & Ventura		x	x

En el diagrama de Venn (Fig. 3) se observa que las especies comunes entre los tres rangos altitudinales fueron: *Leptolyngbya tenuis*, *Cylindrospermum muscicola* y *Nostoc commune*. Estas especies presentan una amplia distribución ecológica (Hakkoum *et al.*, 2021). *L. tenuis* perteneciente al Orden Synechococcales es una especie común en suelos, aunque también puede encontrarse en aguas dulces, salobres y estanques someros (Kőmárek y Anagnostidis, 2005). Por su parte Mirande y Tracanna (2007), la citaron en cuerpos de agua salinos y someros en la Puna argentina.

El taxón *C. muscicola* (Nostocales) ha sido descrito para suelos húmedos y aguas dulces, entre vegetación acuática, y se considera una especie cosmopolita (Kőmárek, 2013). En Argentina, fue citada en suelos agrícolas (Murialdo *et al.*, 2019) y en suelos de bosques nativos (Daga *et al.*, 2024). Por otra parte, Becerra *et al.* (2021) la mencionan como una especie tolerante al plomo (Pb) en suelos contaminados.

La tercera especie común, *Nostoc commune*, es una cianobacteria cosmopolita, presente en suelos desérticos de todo el mundo (Evans y Johansen, 1999). Se adapta a ambientes extremos gracias al desarrollo de una vaina mucilagínosa que recubre cada filamento proporcionándole protección frente al frío y la desecación (Dodds *et al.*, 1995).

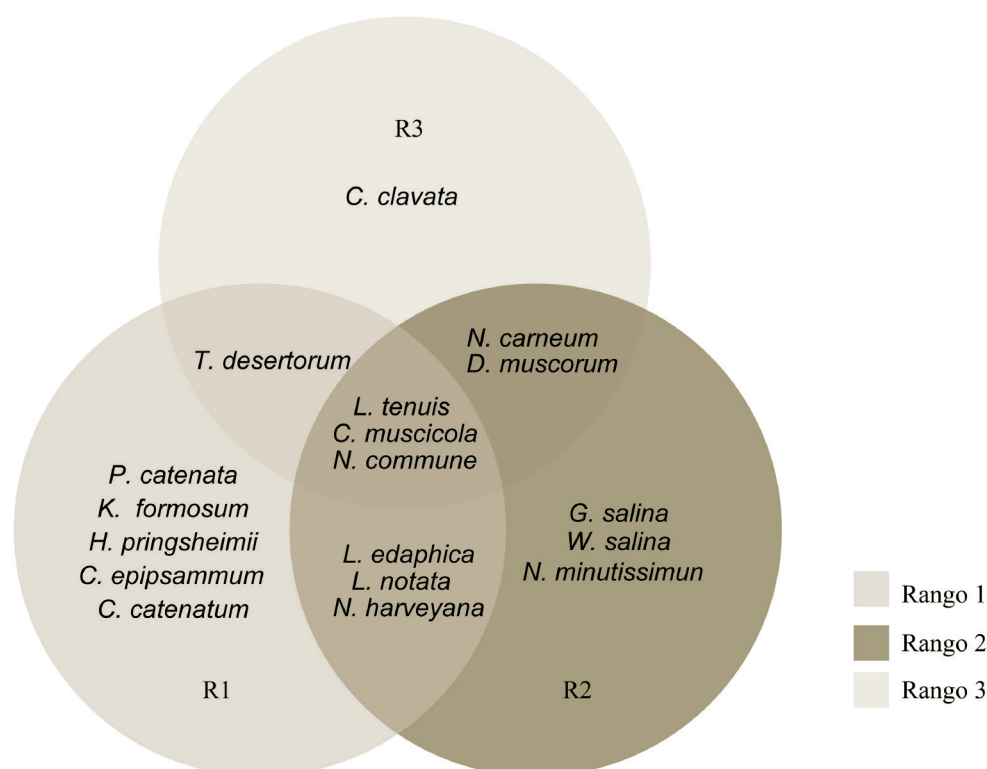


Fig. 3. Diagrama Venn de las especies exclusivas y compartidas en el gradiente altitudinal analizado.

Fig. 3. Venn diagram of exclusive and shared species within the analyzed altitudinal gradient.

En el Rango 1 la cobertura de vegetación promedio fue del 80 %, con un matorral bajo compuesto por arbustos característicos como *Larrea cuneifolia*, *Prosopis alpataco* y *Mulguraea sp.*, especies adaptadas a condiciones áridas e hiperáridas. En estos ambientes también se encuentran endemismos notables de los géneros *Pterocactus*, *Puna* y *Cistanthe* (Márquez *et al.*, 2016).

En este rango, el de menor altura estudiado, las cianobacterias dominantes fueron filamentosas sin heterocitos, a excepción de *Cylindrospermum catenatum*. Řeháková *et al.*, (2011) señalan que los taxones (Synechococcales y Oscillatoriales) suelen dominar en suelos de textura fina con concentraciones relativamente elevadas de materia orgánica.

En el Rango 2, la cobertura vegetal promedio fue del 40% y corresponde a la vegetación altoandina, con adaptaciones al crecimiento sobre sustratos rocosos y poco desarrollados. Predominan las especies en cojín, representadas por *Adesmia aegycceras*, *A. echinus*, *Azorella cryptantha*, *Ephedra sp.* y *Junellia sp.*, acompañadas en sectores húmedos por especies como: *Deyeuxia sp.*, *Zameioscirus gaimardioides*, *Carex maritima* y *Juncus balticus* entre otras, todas tolerantes a suelos salinos en ambientes húmedos, a veces parcialmente cubiertos por agua (Moglia *et.al.*, 2006).

En cuanto a las cianobacterias, se identificaron tres especies exclusivas de este rango: *Wollea salina*, citada en suelos húmedos y salinos, ocasionalmente cubiertos por una capa superficial de agua (Kozlíková-Zapomělová et al., 2016), y *Gloeocapsa salina*, halófila registrada en suelos húmedos y salinos (Kömárek y Anagnostidis, 1998); y *Nostoc minutissimum* también desarrollada en ambientes similares.

En el Rango 3, situado por encima de los 4000 m snm, la cobertura vegetal es inferior a 0,1 %, debido a condiciones ambientales extremas, como bajas temperaturas, alta radiación y suelos poco desarrollados, que limitan el crecimiento y establecimiento de la vegetación (Martínez Carretero et al., 2007; Martínez Carretero et al., 2010). Las cianobacterias dominantes pertenecen al Orden Nostocales, lo cual podría explicarse por las características edáficas del sitio: suelos jóvenes, sin cobertura vegetal con limitaciones de carbono y nitrógeno orgánico (Wardle et al., 2004), nutrientes que pueden ser fijados por otras comunidades biológicas (Hayat et al., 2010). En este contexto, las cianobacterias diazótrofes desempeñarían un papel fundamental en la dinámica de estos nutrientes en suelos pocos profundos y con escasa materia orgánica (Řeháková et al., 2011; Brankatschk et al., 2011).

Diversos autores sugieren que el desarrollo de los heterocitos constituye un mecanismo de adaptación, mediados por procesos de regulación genética, frente al déficit de nitrógeno (Muro-Pastor, 2014; Muro-Pastor y Hess, 2012).

El cambio en la estructura de la comunidad de cianobacterias observados en este trabajo, con el aumento de la altitud, pone de relieve la necesidad de estudios más profundos para comprender los mecanismos de tolerancia que operan en condiciones adversas.

Con relación al desarrollo bajo condiciones controladas de cultivo, las Synechococales y Oscillatoriales fueron evidentes desde el inicio del ensayo, mientras que las Nostocales comenzaron a desarrollarse entre la sexta y la séptima semana, fenómeno también observado en otros estudios (Schinquel et al., 2018; Murialdo et al., 2019). Se ha demostrado que la diferenciación de células vegetativas en heterocitos es dependiente de la luz, además de estar asociada a deficiencias de nitrógeno (Kumar et al., 2010).

CONCLUSIÓN

La riqueza de especies de la comunidad de cianobacterias en los suelos de la Cordillera Frontal y la Depresión Rodeo-Calingasta analizados, disminuye con la altitud.

En este trabajo se identificaron 18 taxones siendo las especies con heterocitos (Nostocales) las dominantes entre los 3001-5000 m snm. Los restantes taxones estuvieron presentes en el Rango de menor altura.

Del análisis realizado entre los Rangos, se destacan otros aspectos ecológicos de los taxones determinados, en especial su vinculación con el rol de la cobertura vegetal como un factor a considerar en la dinámica de la comunidad estudiada.

A partir de este aporte inicial es necesario profundizar en aspectos específicos de la comunidad de cianobacterias presentes con variables como: la dinámica del nitrógeno y el carbono y la estructura y cobertura de la vegetación existente. Esto permitirá asociar la presencia de estos microorganismos en su rol como pioneros en ambientes extremos. Por otra parte, permitirá avanzar en futuros estudios de conservación o ecología de suelos en altura.

CONFLICTOS DE INTERESES

Declaramos expresamente que no existen conflictos de intereses entre autores o con terceros.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, A., Haakonssonb, S., Martina, M. V., Salerno, G. L. y Echenique, R. (2018). Bloom-forming cyanobacteria and cyanotoxins in Argentina: A growing health and environmental concern. *Limnologica* 69: 103-114.
- Becerra, A. G., Daga, I. C., Murialdo, R., Menoyo, E. y Salazar, M. J. (2021). Algas y cianobacterias del suelo creciendo en rizosferas de plantas acumuladoras de plomo. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 56: 3-16. <https://doi.110.31055/1851.2372.v.56.n1.29317>
- Brankatschk, R., Töwe, S. y Kleinedam, K. (2011). Abundances and potential activities of nitrogen cycling microbial communities along a chronosequence of a glacier forefield. *ISME J* 5: 1025-1037 <https://doi.10.1038/ismej.2010.184>
- Čapková K., Hauer T., Řeháková K. y Doležal J. (2016). Some like it high! Phylogenetic diversity of high-elevation cyanobacterial community from biological soil crusts of Western Himalaya. *Microbial Ecology* 71 (1): 113-123. <https://doi.10.1007/s00248-015-0694-4>
- Choudhary, K. K. y Singh, R. K. (2013). Cyanobacterial diversity along altitudinal gradient in Eastern Himalayas of India. *Journal of alga biomass utilization* 4 (2): 53-58.
- Daga, C., Murialdo, R., Gudiño, G. y Pesci, H. (2024). Comunidad de cianobacterias edáficas de suelos post-incendios en Sierras Chicas de la provincia de Córdoba, Argentina. *Bonplandia* 33 (1): 1-18. <https://doi.10.30972/bon.3317217>
- Dodds, W. K., Gudder, D. A. y Mollenhauer, D. (1995). The ecology of Nostoc. *Journal of Phycology* 31 (1): 2-18.

- Evans, R. D. y Johansen, J. R. (1999). Microbiotic Crusts and Ecosystem Processes. Critical Reviews. *Plant Sciences* 18 (2): 183-225. <https://doi.org/10.1080/07352689991309199>
- 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.
- García-Llorente, M., Rossignoli, C. M., Di Iacovo, F. y Moruzzo, R. (2016). Social Farming in the Promotion of Social-Ecological Sustainability. *Rural and Periurban Areas. Sustainability* 8: 1238. <https://doi.org/10.3390/su8121238>
- Hakkoum, Z., Minaoui, F., Douma, M., Mouhri, K. y Loudiki, M. (2021). Impact of human disturbances on soil cyanobacteria diversity and distribution in suburban arid area of Marrakesh, Morocco. *Ecological Processes* 10 (1): 42. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00303-7>
- Halperin, D. R., Mendoza M. L. y Zulpa De Caire G. (1973). Obtención de Cultivos de Algas Azules (Cyanophyta). *Physis. Sección B* 32 (84): 67-84.
- Hayat, R., Ali, S. y Amara, U. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion. *Annals of Microbiology* 60 (4): 579-598.
- Kömárek, J. (2013). Cyanoprokaryota. 3. *Heterocytous* Genera. In: Büdel, B.; Gärtner, G.; Krienitz, L. y Schagerl, M. (eds): *Süßwasserflora von Mitteleuropa (Fresh-water Flora of Central Europe)* 19/3. Springer Spektrum, Berlin. Heidelberg.
- Kömárek, J. y Anagnostidis, K. (1998). Cyanoprokaryota. 1. Chroococcales. In: Ettl, h., G. Gärtner, H. Heynig y D. Mollenhauer (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 19/1. Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm.
- Kömárek, J. y Anagnostidis, K. (2005). Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales. In: Büdel, B., L. Krienitz, G. Gärtner y M. Schagerl (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 19/2. Elsevier/Spektrum Heidelberg.
- Kömárek J., Kastovsk J., Mares, J. y Johansen, J. R. (2014). Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia* 86: 295-335.
- Kozlíková-Zapomělová, E., Chatchawan, T., Kaštovský, J. y Komarek, J. (2016). Phylogenetic and taxonomic position of the genus *Wolleea* with the description of *Wolleea salina* sp. nov. (Cyanobacteria, Nostocales). *Fottea* 16 (1): 43-55. <https://doi.org/10.5507/fot.2015.026>
- Kumar, K., Mella-Herrera, R. A. y Golden, J. W. (2010). Cyanobacterial heterocysts. *Cold Spring Harbor perspectives in biology* 2 (4): a000315. <https://doi.org/10.1101/cshperspect>

- 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.
- Márquez, J., Martínez Carretero, E. E. y Dalmasso, A. D. (2016). Provincias fitogeográficas de la provincia de San Juan. En E. E. Martínez Carretero & A. García (Eds.), *San Juan Ambiental* (pp. 187-197). Universidad Nacional de San Juan. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/129240>
- Martínez Carretero, E., Dalmasso, A., Márquez, J. y Pastrán, G., (2007). Comunidades Vegetales y Unidades Fitogeográficas. En: Martínez Carretero, E. (Ed.), *Diversidad Biológica y Cultural de los Altos Andes Centrales de Argentina*. UNSJ. CRICYT. CONICET. San Juan, Argentina.
- Martínez Carretero, E., Dalmasso, A., Márquez, J. y Martinelli, M., (2010). Vegetation of the High Central Andes of Argentina. Plant communities and phytogeographical units in the northwest of San Juan. *Candollea* 65 (1): 63-96.
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista Científica UDO Agrícola* 4 (1): 1-20.
- Mirande, V. y Tracanna, B. C. (2007). Diversidad de cianobacterias, clorofitas y euglenofitas en humedales de altura (Jujuy, Argentina). *Lilloa* 44 (1-2): 39-59.
- Moglia, P., Tombesi, T. y Kiesling, R. (2006). La Vegetación de la Reserva San Guillermo San Juan, Argentina. *Anales de la Sociedad Científica Argentina* 230 (1): 1-2.
- Muro-Pastor, A. M. y Hess, W. R. (2012). Heterocyst differentiation: from single mutants to global approaches. *Trends Microbiology* 20: 548-557. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2012.07.005>
- Muro-Pastor, A. M. (2014). The heterocyst specific NsiR1 small RNA is an early marker of cell differentiation in cyanobacterial filaments. *Mbio* 5 (3): 10-1128. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/mbio.01079-14>
- Murialdo, R., Fernández Belmonte, M. C., Daga, I. C., González, C. y Pesci, H. E. (2019). Contribución al estudio de cianobacterias edáficas en un suelo con manejo agrícola de Córdoba Argentina. *Ciencias del Suelo* 37 (2): 383-387.
- Quesada, A., Sánchez-Maeso, E. y Fernández-Valiente, E. (1995). Seasonal variation of chemical properties of rice field soil from Valencia. *Communications in soil science and plant análisis* 26 (1-2): 1-19.
- Quesada, A., Nieva, M., Leganés, F., Ucha, A., Martín, M., Prosperi, C. y Fernández-Valiente, E. (1998). Acclimation of Cyanophytal communities in rice fields and response of nitrogenase activity to light regime. *Microbial Ecology* 35 (2): 147-155.

- 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: 337-346. <https://doi.10.1007/s00248-011-9878-8>
- Rindi, F. (2007). Diversity, distribution and ecology of green algae and cyanobacteria in urban habitats. *Algae and Cyanobacteria in extreme environments*: 631-638.
- 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. *Microbiology* 111: 1-61.
- Schinquel, V., Murialdo, R. y Daga C. (2018). Cianobacterias edáficas en un relicto de monte nativo de la Provincia de Córdoba. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 5 (1): 59-59.
- Wardle, D. A., Walker, L. R. y Bardgett, R. D. (2004). Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. *Science* 305: 509-513.
- Watanabe, A. (1961). Collection and cultivation of nitrogen-fixing blue-green algae and their effect on the growth and crop yield of rice plants. *Studies from the Tokugawa Institute* 9 (3): 162-166.
- Yadav, P., Singh, R. P., Rana, S., Joshi, D., Kumar, D., Bhardwaj, N., Gupta, R. K. y Kumar, A. (2022). Mechanisms of Stress Tolerance in Cyanobacteria under Extreme Conditions. *Stresses* 2: 531-549. <https://doi.10.3390/stresses2040036>