



## COMUNIDAD DE CIANOBACTERIAS EDÁFICAS DE SUELOS POST-INCENDIOS EN SIERRAS CHICAS DE LA PROVINCIA DE Córdoba, ARGENTINA

Edaphic cyanobacterial community of post-fire soils in Sierras Chicas of Córdoba province, Argentina

Claudia Daga<sup>1</sup>, Raquel Murialdo<sup>2</sup>, Gustavo Gudiño<sup>3</sup> & Hugo Pesci<sup>2</sup>

**Resumen:** Las cianobacterias son los organismos fototróficos oxigénicos que poseen una alta capacidad adaptativa a diferentes ambientes, lo cual les permite ser pioneros en los ecosistemas terrestres. El objetivo del trabajo fue comparar la comunidad de cianobacterias en dos zonas de bosque serrano secundario, uno a siete días de ocurrido un incendio (suelo post-fuego) y otra próxima sin incendio (suelo testigo). Las muestras extraídas se cultivaron durante 8 semanas en condiciones controladas. Se identificaron un total de 35 taxones: 2 unicelulares, 24 filamentosas sin heterocitos y 9 con heterocitos; 13 de ellos constituyen primera cita para suelos de Córdoba. *Microcoleus vaginatus* fue el taxón más frecuente, junto con *Scytonema hoffmannii*, *Desmonostoc muscorum* y *Nostoc commune* permanecieron hasta finalizar el ensayo. Se destaca la presencia de organismos exclusivos tales como: *Calothrix brevissima*, *Chlorogloeopsis fritschii* y *Cylindrospermum muscicola* en los suelos testigos, serían los taxones sensibles a este tipo de eventos disruptivos en la comunidad. La disponibilidad de nitrógeno, contenido de CO y pH son las variables físico-químicas del suelo que definen la estructura de la comunidad. Se considera que este trabajo aporta valiosa información para el avance del conocimiento de la restauración de suelos luego de los incendios forestales.

**Palabras clave:** Cianobacterias, incendios, nutrientes, suelos.

**Summary:** Cyanobacteria are oxygenic phototrophic organisms that possess a high adaptive capacity to different environments, allowing them to pioneer terrestrial ecosystems. The objective of this study was to compare the cyanobacterial community in two areas of secondary mountain forest: one seven days after a fire (post-fire soil) and another nearby without fire (control soil). The collected samples were cultivated for 8 weeks under controlled conditions. A total of 35 taxa were identified: 2 unicellular, 24 filamentous without heterocytous, and 9 with heterocytous cyanobacteria; 13 of them represent the first record for soils in Córdoba. *Microcoleus vaginatus* was the most frequent taxon, along with *Scytonema hoffmannii*, *Desmonostoc muscorum*, and *Nostoc commune*, which persisted until the end of the experiment. The presence of exclusive organisms such as *Calothrix brevissima*, *Chlorogloeopsis fritschii*, and *Cylindrospermum muscicola* in the control soils highlights their sensitivity to this type of disruptive event in the community. The availability of nitrogen, CO content, and pH are the physicochemical soil variables that define the community structure. This work is contributing to increase our knowledge of soil restoration after forest fires.

**Key words:** Cyanobacteria, fires, nutrients, soil.

<sup>1</sup> Departamento Diversidad Biológica y Ecología, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Av. Vélez Sarsfield 299, (5000) Córdoba, Argentina. E-mail: [inesclaudiadaga@gmail.com](mailto:inesclaudiadaga@gmail.com)

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

## Introducción

Los microorganismos del suelo son componentes claves del sistema edáfico ya que impulsan más del 80% de la producción del mismo, siendo los principales responsables de su fertilidad y calidad (Saccá *et al.*, 2017). En el caso particular de las cianobacterias son los organismos fototróficos oxigénicos más antiguos que se encuentran en la tierra y los principales colonizadores de los ecosistemas terrestres (Whitton & Potts, 2000). Es así como presentan una amplia distribución ecológica, colonizando diversos hábitats e incluso ambientes extremos (Weber *et al.*, 2016). Forman parte de las biocostras del suelo (Büdel *et al.*, 2016) en bosques nativos y tierras agrícolas (Schinquel *et al.*, 2018; Murialdo *et al.*, 2018, 2019). Pueden prosperar en ambientes con pocos nutrientes, debido a su capacidad de fijar nitrógeno a través de células especializadas, denominadas heterocitos (Whitton & Potts, 2000). Los factores ambientales tales como temperatura, salinidad, pH y perturbaciones influyen en la diversidad y distribución de las cianobacterias (Concostrina-Zubiri *et al.*, 2013).

En el caso particular de los incendios forestales, al evaluar impactos como la pérdida de la vegetación, en general no se analiza que los organismos del suelo también son afectados y esto ocurre de manera variable dependiendo principalmente de la severidad del fuego y los factores ambientales involucrados en los procesos de combustión: cantidad, naturaleza y humedad del combustible vivo y muerto, velocidad del viento y topografía del sitio (Certini, 2005).

Considerando que en el centro de Argentina los incendios en los bosques serranos son una de las perturbaciones más comunes (Cingolani *et al.*, 2013; Argañaraz *et al.*, 2015) se planteó como objetivo del presente trabajo evaluar la comunidad de cianobacterias edáficas en un área de bosque nativo secundario a los 7 días de ocurrido un incendio y compararla con un área próxima y de similares características, pero sin haber sido afectadas por el incendio.

## Materiales y Métodos

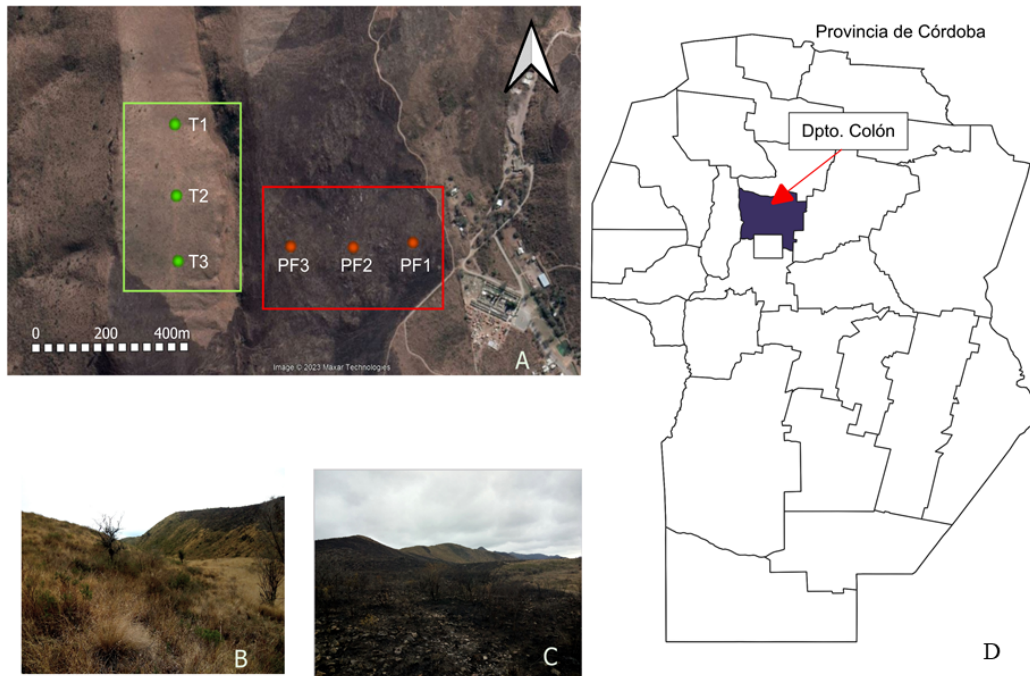
### Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada a 18 kilómetros de Córdoba Capital, en la Localidad de La Calera, Departamento Colón, Provincia de Córdoba (Fig. 1); entre los 511 m s.n.m. y los 567 m s.n.m. (31°19'33"S, 64°21'3"W y 31°19'31,71"S, 64°20'50"W).

En relación con el esquema de regionalización biogeográfica de Argentina el área de estudio se encuentra en la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia del Chaco, Distrito Chaqueño Serrano (Arana *et al.*, 2021). La composición florística de estos bosques cambia con la latitud y la altitud a escala regional (Cabrera, 1976) y con las características edáficas y la historia de disturbio a escala local (Cabido *et al.*, 1991; Gurvich *et al.*, 2005). Esto determina que el sistema sea altamente heterogéneo y que haya variaciones importantes en la composición de especies en distancias muy cortas. La vegetación dominante está formada por "molles" (*Lithraea molleoides*), predomina en las laderas húmedas, donde forma bosques más o menos densos. El "coco" (*Zanthoxylum coco*), no forma poblaciones densas como el "molle", y suele estar acompañado por algunos "espinillos" (Luti *et al.*, 1979). En el caso particular del área de estudio los ejemplares de *Lithraea molleoides* se encuentran como individuos aislados y son dominantes renovales de dos especies *Vachellia aroma* y *V. caven* acompañadas por: *Acacia praecox*, *Ruprechtia apetala* y *Prosopis* sp.

### Obtención de muestras de suelo y caracterización físico-química

Se tomaron muestras de suelo compuestas, superficiales entre 0-10 cm por triplicado en dos polígonos, uno sin incendio denominado testigo (31°19'33"S, 64°21'3"W) y otro post-fuego (31°19'31"S, 64°20'50"W), las muestras se tomaron 7 días posteriores al incendio utilizando un muestreador pico-tacho y luego se acondicionaron y conservaron en heladera a 4 °C. La caracterización físico-química se realizó en base a los siguientes parámetros: carbono orgánico (CO) fue medido por el método de Walkley & Black (Nelson & Sommers, 1996), nitrógeno total (Nt) por el método



**Fig. 1.** Área de estudio. A: Polígonos indicando T: suelo testigo; P-F: suelo post-fuego. B: Imagen suelo testigo. C: Imagen suelo post-fuego. D: Mapa de la provincia de Córdoba indicando el departamento donde se encuentra el área de estudio.

Kjeldahl (Bremner, 1996), nitrógeno de nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ) por el método del fenoldisulfónico (Mulvaney, 1996), fósforo extractable (Bray & Kurtz, 1945), conductividad eléctrica (Sonda Field Scout. Mod. 2265 FS), pH 1:2,5 por potenciometría (Thomas, 1996). Para el análisis de distribución de tamaño de partículas de los suelos y su caracterización textural, se aplicó el método de Bouyoucos (USDA-NRCS, 2014).

#### *Obtención de cultivos a partir de las muestras de suelo*

Se realizaron cultivos de ambos tipos de suelos, testigo y post-fuego, para ello se colocaron 10 g de suelo en cajas de Petri esterilizadas. Cada caja se regó dos veces por semana con 15 ml de medio de cultivo (Watanabe, 1961), tapadas y colocadas en cámara de cultivo a una temperatura de  $28 \pm 2$  °C, con fotoperíodo de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. La intensidad lumínica fue de 4,500 a 5,000 luxes, proporcionada por lámparas LED “luz de día”. Los cultivos fueron controlados cada 7 días, durante un período de 56 días. Para realizar las observaciones, se colocó una

maya cuadrículada de  $1 \times 1$  cm desde donde se seleccionaron al azar tres puntos de la superficie del cultivo. A partir de la información obtenida se construyó la tabla de presencia - ausencia de cada tipo de suelo estudiado y frecuencia relativa según la siguiente fórmula:  $FR = \frac{S_i}{N} \times 100$ , donde  $S_i$  es el número de muestras con presencia de la especie ‘i’ en las muestras y N es el número total de muestras.

Los diferentes taxones de cianobacterias edáficas fueron observados en microscopio óptico Leica CME 500 con observaciones a 40x y 100x. Para su identificación se consideraron los siguientes caracteres: presencia o ausencia de heterocitos, presencia o ausencia de vainas, así como sus dimensiones y coloración; diámetro de colonias, dimensiones celulares, de filamentos, forma de células apicales. Las cianobacterias se identificaron utilizando el sistema de clasificación: Kōmarek & Anagnostidis (1999, 2005) y Kōmarek *et al.* (2013, 2014) y la base de datos algaebase (Guiry & Guiry, 2020). Los organismos fueron fotografiados con una cámara digital Cannon incorporada al microscopio.

*Análisis estadístico*

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), considerando las variables: pH, %Nt, N-NO<sub>3</sub>, %CO, P, taxones con heterocitos y sin heterocitos, taxones comunes y exclusivos; utilizando como criterio de clasificación los dos tipos de suelo estudiados con asistencia del programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2018),

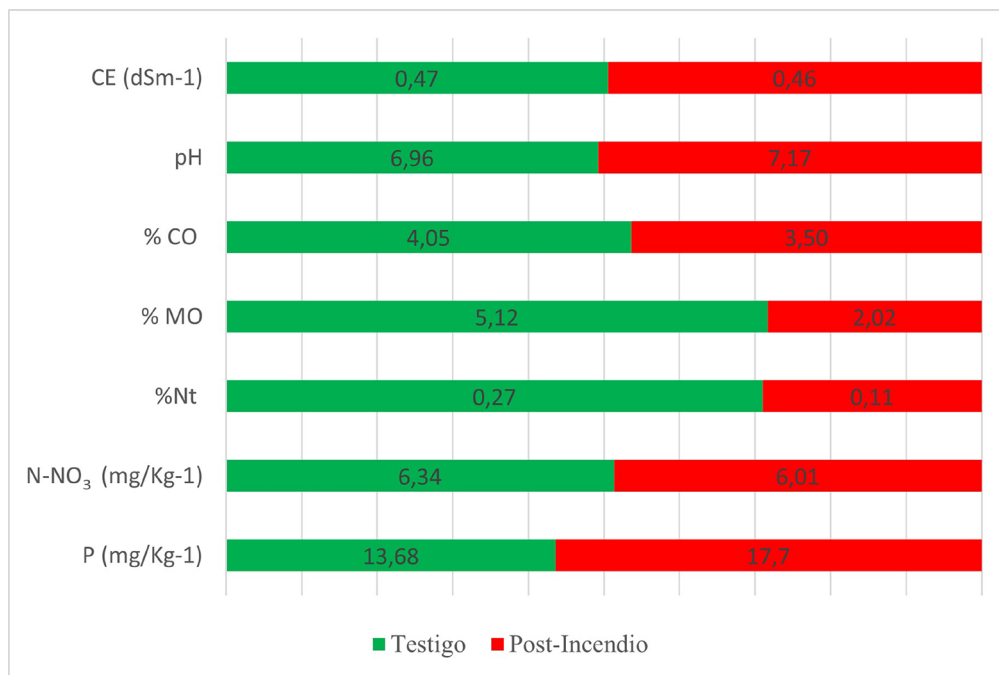
**Resultados**

De las características físico-químicas de los suelos estudiados (Fig. 2) se puede observar que en el suelo post-fuego disminuyó la concentración de nitrógeno total y el porcentaje de carbono orgánico; en tanto el pH y el fósforo presentaron valores mayores si se compara con el suelo testigo. De acuerdo con el análisis granulométrico (Triángulo textural de USDA, 2014) se determinó que el suelo es de tipo franco-arenoso (arena 72,64%; limo 15,53% y arcilla 11,84%).

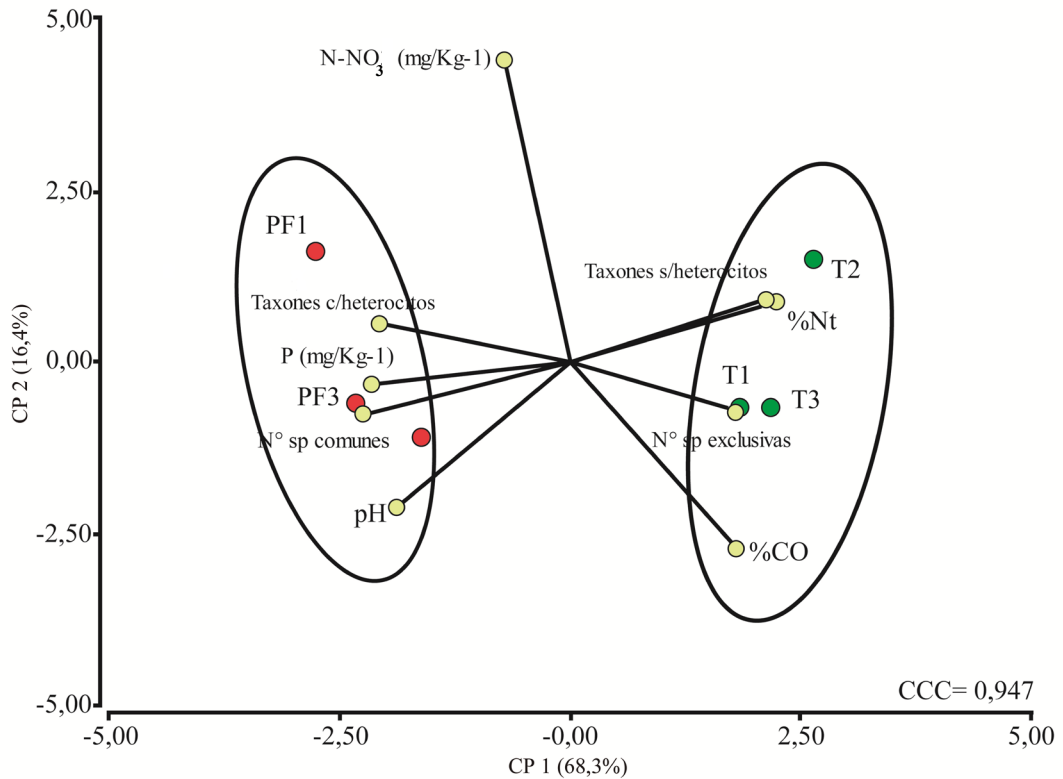
Del análisis de componentes principales (Fig. 3) resultó que entre el componente

principal 1 (CP1) y el componente principal 2 (CP2) explicaron el 84,70% de la variabilidad en los suelos estudiados (relación cofenética= 0,947). El primer componente (CP1) diferencia claramente los dos tipos de suelos estudiados con sus variables asociadas. Un grupo asociado a las variables contenido de Nt, % CO, taxones sin heterocitos y taxones exclusivos (suelo testigo) y el segundo grupo se correlaciona a las variables concentración de P (mg/Kg<sup>-1</sup>), pH, taxones con heterocitos y taxones comunes (suelo post-fuego). El componente principal 2 contrasta los tipos de taxones (con heterocitos y sin heterocitos) asociados a la variable contenido de N-NO<sub>3</sub>. Este componente se relaciona positivamente con el contenido de N-NO<sub>3</sub> y negativamente con %CO y pH, ubicados estos últimos en la parte inferior del gráfico que se muestra en la Figura 3.

Respecto a las cianobacterias determinadas se contabilizaron un total de 35 taxones, 29 en suelo testigo (Tabla 1) y 21 en suelo post-fuego (Tabla 2). Los organismos unicelulares y los filamentosos sin heterocitos fueron dominantes en ambos suelos y representaron el 79% en el testigo y el 62% post-fuego (Fig. 4).



**Fig. 2.** Valores medios de parámetros fisicoquímicos del suelo evaluado.



**Fig. 3.** Análisis de Componentes Principales. Nota: Biplot de las componentes principales I (CP1) y II (CP2). Variables: T1, T2 y T3: Suelo Testigo; PF1, PF2 y PF3: Suelo Post-Fuego; %CO: porcentaje de Carbono Orgánico; NT: Nitrógeno Total; N-NO<sub>3</sub>: Nitrógeno de Nitrato; P: Fósforo; pH; Taxones s/heterocitos: Taxones sin heterocitos; Taxones c/heterocitos: Taxones con heterocitos.

Al analizar el desarrollo de cianobacterias cultivables (Fig. 5), tanto en el suelo testigo como el post-fuego los primeros organismos fueron observados a partir de la segunda semana y se correspondió a formas filamentosas tales como: *Leptolyngbya edaphica* (= *Timoviella edaphica* (Elenkin) O. N. Vinogradova & Mikhailiuk, 2018), *Trichocoleus sociatis* y *Microcoleus vaginatus*. Los taxones con heterocitos en suelos post-fuego se observaron en la segunda semana aumentando su dominancia a partir de la cuarta semana y representaron el 38% de la comunidad. Mientras que en el suelo testigo el desarrollo de las formas con heterocitos ocurrió a partir de la quinta semana de desarrollo y representaron un 21%. El mayor número de taxones de especies ocurrió en las semanas 6 a la 8 tanto para muestras testigo como post-fuego.

Los taxones que presentaron mayor frecuencia relativa en suelos testigos fueron *Kamptomena chlorinum* y *M. vaginatus* con el 79% y el 87% (taxones sin heterocitos), *Scytonema hoffmannii* y *Nostoc commune* con el 58% y 62% respectivamente (taxones con heterocitos). En los suelos post-fuego los taxones con mayor frecuencia fueron *M. vaginatus* con el 87% y *Scytonema hoffmannii* con el 83% (Tablas 1 y 2).

Los suelos estudiados comparten el 43% de las especies. Fueron exclusivas en suelos post-fuego, las especies con heterocitos: *Nostoc punctiforme*, *Calothrix brevissima* y *Chlorogloeopsis fritschii*. En tanto *Cylindrospermum muscicola* solo fue observada en el suelo testigo. En relación con las especies sin heterocitos en los suelos post-fuego se desarrollaron de manera exclusiva:











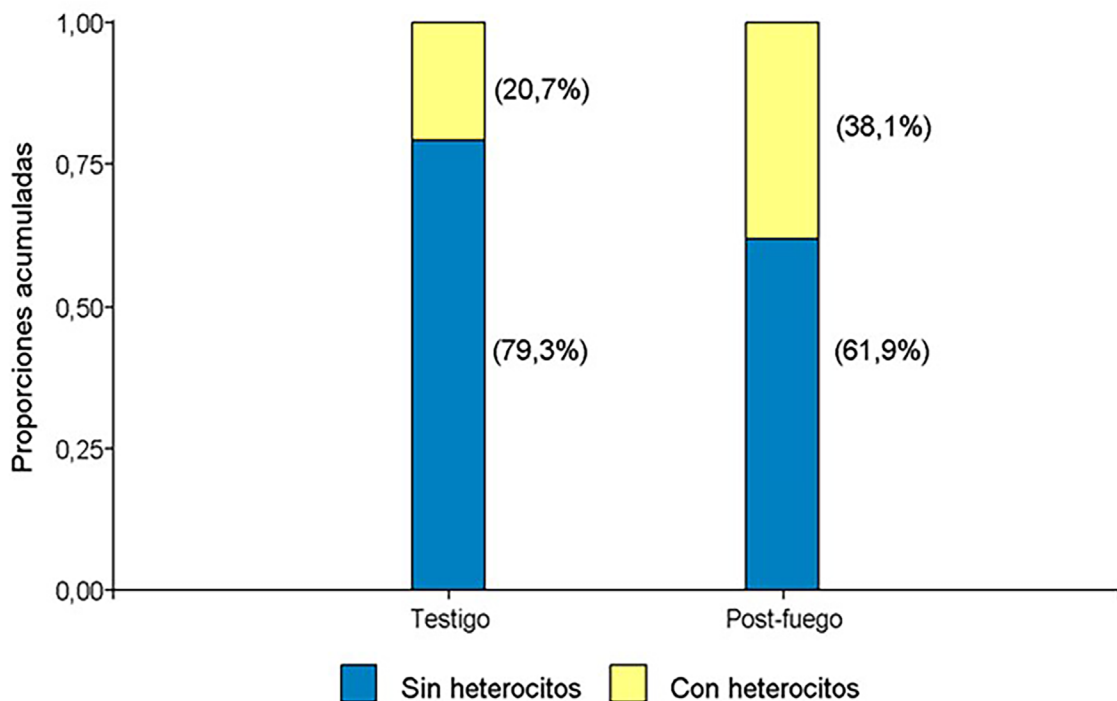


Fig. 4. Contribución en porcentaje de cianobacterias con heterocitos y sin heterocitos con relación a los suelos estudiados.

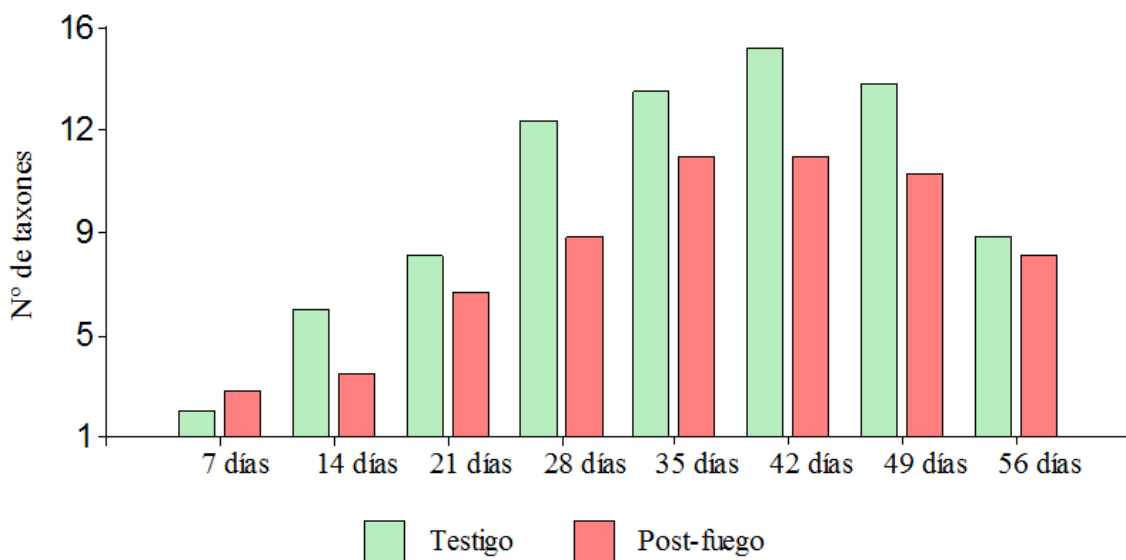


Fig. 5. Número de taxones en muestras Testigo y Post-fuego en las 9 semanas de estudio.

*Trichocoleus acutissimus*, *Phormidium retzii* y *Lyngbya major*.

De los 35 taxones identificados (Figs. 6 y 7), 13 son nuevas citas para la provincia de Córdoba y se describen a continuación:

### **Synechococcales**

***Aphanocapsa muscicola*** (Meneghini) Wille (Fig. 6B)

Colonias mucilaginosas formando masas amorfas. Células esféricas solitarias o de a pares rodeadas de vainas gelatinosas individuales de coloración verde azulado brillante.

Dimensiones: Células diámetro: 2-4  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Aerofítica, sobre rocas, madera y suelos (Kömárek & Anagnostidis, 1999).

*Distribución geográfica*: Probablemente de distribución cosmopolita (Kömárek & Anagnostidis, 2005), en Argentina citada para la provincia de Tucumán (Corbalán *et al.*, 2017).

***Dasygloea terrestris*** (M. T. P. Azevedo) Senna & Kömárek (Fig. 6C)

Filamentos solitarios con constricciones. Vaina incolora a verde amarillenta. Tricomas verdes azulados hasta 6 tricomas por filamento, células con constricciones a nivel de septos.

Dimensiones: Filamento: 40-60  $\mu\text{m}$ ; células largo: 4-8  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4-6  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Citada para suelos (Kömárek & Anagnostidis, 2005).

*Distribución geográfica*: Citada para Brasil (Kömárek & Anagnostidis, 2005).

***Trichocoleus acutissimus*** (N. L. Gardner) Anagnostidis (Fig. 6G)

Filamento con vaina incolora y abierta en los extremos, tricomas poco numerosos con intensos movimientos, 1 a 2 tricomas saliendo de la vaina. Células 3 veces más largas que anchas sin constricciones, con granulaciones a nivel de los septos y de coloración verde azulado pálido. Célula terminal extremadamente cónica.

Dimensiones: Filamentos largos: 200-350  $\mu\text{m}$ ; ancho: 20-25  $\mu\text{m}$ ; células largo: 6-9  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2-3  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Especie descrita para suelos

húmedos (Kömárek & Anagnostidis, 2005).

*Distribución geográfica*: Probablemente de distribución cosmopolita (Kömárek & Anagnostidis, 2005).

***Trichocoleus sociatus*** (West & G. S. West) Anagnostidis (Fig. 6H, I)

Filamentos solitarios largos con un elevado número de tricomas (8-13) que pueden salir de la vaina por sus movimientos de deslizamientos. Células ligeramente con constricciones a nivel de los septos, hasta 3 veces más largas que anchas, de coloración verde azulado con contenido granular. Célula apical alargada cilindro-cónica hasta 5 veces más larga que ancha.

Dimensiones: Filamento ancho: 30-50  $\mu\text{m}$ ; células largo: 4-6  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2-4  $\mu\text{m}$ ; célula terminal largo: 10  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: En agua dulce, corrientes, y pantanos, aguas estancadas y suelos húmedos (Kömárek & Anagnostidis, 2005).

*Distribución geográfica*: Probablemente de distribución cosmopolita (Kömárek & Anagnostidis, 2005).

***Trichocoleus desertorum*** Mühlsteinová, J. R. Johansen & N. Pietrasiak (Fig. 6J)

Filamento que contiene un solo tricoma o numerosos, muy móviles y ligeramente atenuados. Células con constricciones a nivel de los septos, hasta 3 veces más largas que anchas, de coloración verde azulado con contenido granular. El tricoma se atenúa sobre varias células no sólo en la célula apical.

Dimensiones: Células largo: 4-6  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2,5-4  $\mu\text{m}$ ; célula terminal: largo 10  $\mu\text{m}$ ; ancho parte media: 2-3  $\mu\text{m}$ .

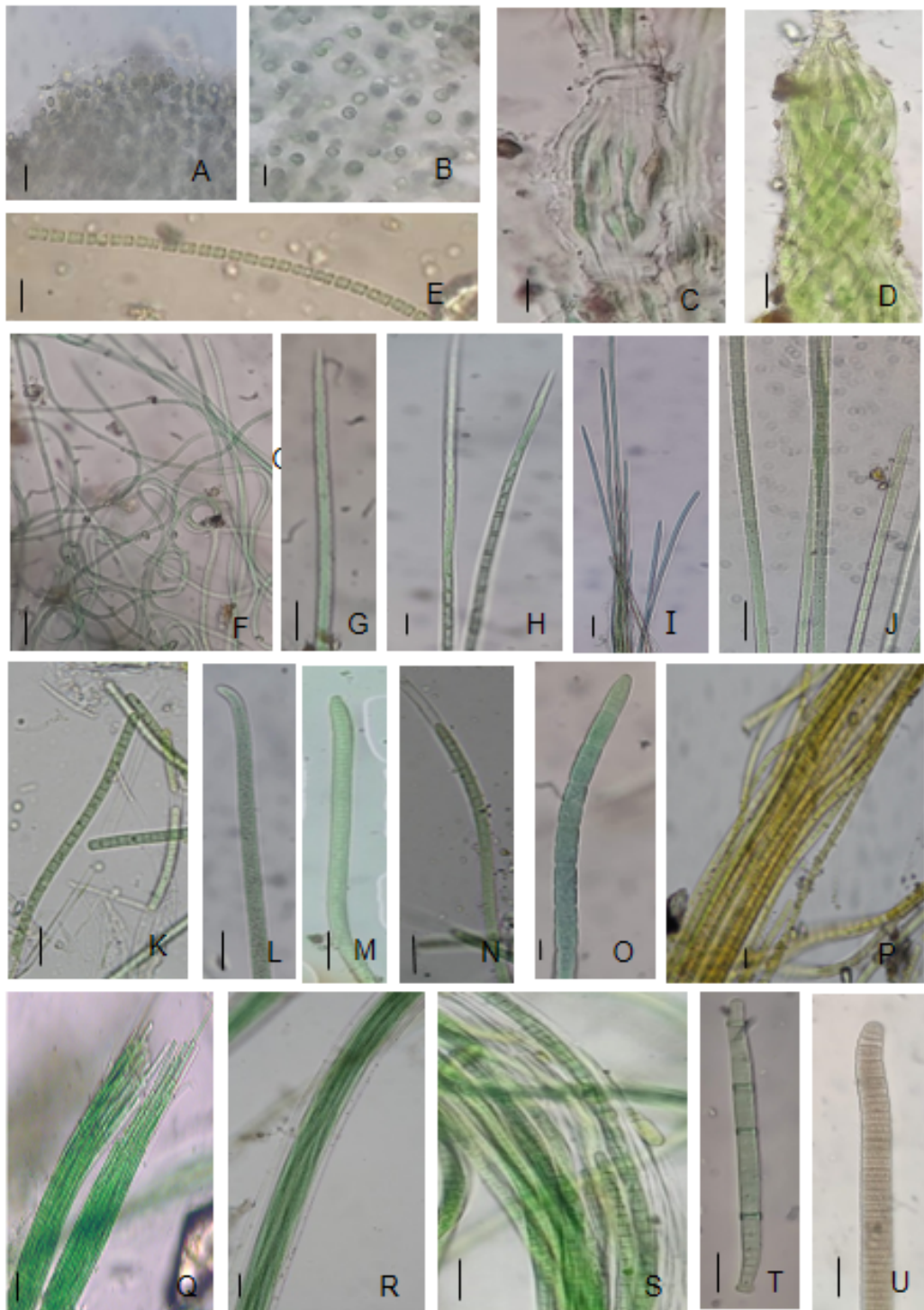
*Hábitat*: Especie citada para suelos de zonas áridas y semiáridas (Mühlsteinová *et al.*, 2014).

*Distribución geográfica*: Citado para el desierto de Atacama, de Mojave y desierto de Colorado (Mühlsteinová *et al.*, 2014).

*Observaciones*: Se aclara que el hábitat no coincide con la bibliografía original.

### **Oscillatoriales**

***Kamptomena formosum*** (Bory ex Gomont) Strunecký Kömárek & J. Smarda (Fig. 6L)



**Fig. 6.** A: *Aphanothece microscopica*. B: *Aphanocapsa muscicola*. C: *Dasygloea terrestris*. D: *Schizothrix* sp. E: *Pseudoanabaena catenata*. F: *Leptolyngbya edaphica*. G: *Trichocoleus acutissimus*. H- I: *T. sociatus*. J: *T. desertorum*. K: *Kamptonema chlorinum*. L: *K. formosum*. M: *Phormidium amoenum*. N: *P. corium*. O: *P. molle*. P: *P. retzii*. Q: *Microcoleus lacustris*. R: *M. vaginatus*. S: *Symplocastrum friesii*. T: *Oscillatoria anguinea*. U: *O. limosa*. Escalas: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, U= 10 µm; T= 20 µm

Tricomas solitarios, rectos a ligeramente flexuosos, de coloración verdeazulado oscuro. Con notables movimientos de rotación y oscilación. Puede presentar vaina, si la posee es delgada. Células isodiamétricas pueden ser más cortas que anchas con constricciones a nivel de los septos. Contenido celular homogéneo o finamente granuloso. Célula apical redondeada a ligeramente afinada, sin caliptra.

Dimensiones: Largo del filamento: 50  $\mu\text{m}$ ; células largo: 2,5-4  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2-4  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Citada para plancton, perifiton y bentos, suelos húmedos y estanques poco profundos (Strunecký *et al.*, 2014).

*Distribución geográfica*: Probablemente cosmopolita (Strunecký *et al.*, 2014); en Argentina ha sido citada bajo el nombre de *Oscillatoria formosa*, para cuerpos de agua con un pH de 5,5 (Tell, 1971; Guarrera & Echenique, 1998) y para aguas termales formando matas algales o como filamentos agregados y entrelazados entre sí o entre otras cianobacterias (Flores Melo *et al.*, 2019).

***Microcoleus lacustris*** Farlow ex Gomont (Fig. 6Q)

Filamento formado por tricomas rectos o curvos, incluidos en una vaina mucilaginosa incolora. Los tricomas se encuentran densamente agrupados y los extremos sobresalen de la vaina y presentan movimiento. Células con constricciones a nivel de septos, célula apical redondeada.

Dimensiones: Células largo: 5-8  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3-4  $\mu\text{m}$ ; vaina mucilaginosa ancho: 4-16  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: En agua como bentónica y para suelos (Kömerek & Anagnostidis, 2005).

*Distribución geográfica*: Citada para suelos de la India (Kömerek & Anagnostidis, 2005), en Argentina citada para Buenos Aires (Tell, 1985).

***Symplocastrum friesii*** (Agardh) Kirchner (Fig. 6S)

Filamentos con vaina mucilaginosa gruesa lamelada, tricomas de 1 a 10 de coloración verde oliva. Células casi isodiamétricas a cilíndricas apenas más largas que anchas, con gránulos, sin constricciones a nivel de los septos. Célula apical cónica más larga que el resto de las células a menudo amarillentas.

Dimensiones: Filamento ancho: 20-60  $\mu\text{m}$ ; células largo: 5-10  $\mu\text{m}$ ; ancho 4-6  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Citada para ambientes terrestres húmedos (Kömerek & Anagnostidis, 2005).

*Distribución geográfica*: Probablemente de distribución cosmopolita (Kömerek & Anagnostidis, 2005).

*Observaciones*: El material examinado presentó filamentos generalmente más anchos que el citado en la bibliografía consultada.

***Lyngbya major*** Meneghini ex Gomont (Fig. 7C)

Filamentos largos, rectos a curvados, vaina incolora, lamelada. Tricomas verdeazulados, células con granulaciones y célula apical redondeada.

Dimensiones: filamentos anchos: 20-24  $\mu\text{m}$ ; células largo: 2  $\mu\text{m}$ ; ancho: 10-16  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: En agua dulce, bentónica sobre lodo, epífita (Kömerek & Anagnostidis, 2005).

*Distribución geográfica*: Cosmopolita (Kömerek & Anagnostidis, 2005).

## Nostocales

***Scytonema hoffmannii*** C. Agardh ex Bornet & Flahault (Fig. 7F)

Filamentos con falsas ramificaciones, vaina delgada incolora a marrón amarillenta. Tricomas de coloración verdeazulado. Células más largas que anchas a isodiamétricas, hacia el final del tricoma son más anchas que largas y la célula apical es más clara y redondeada. Heterocitos amarillentos isodiamétricos a cilíndricos.

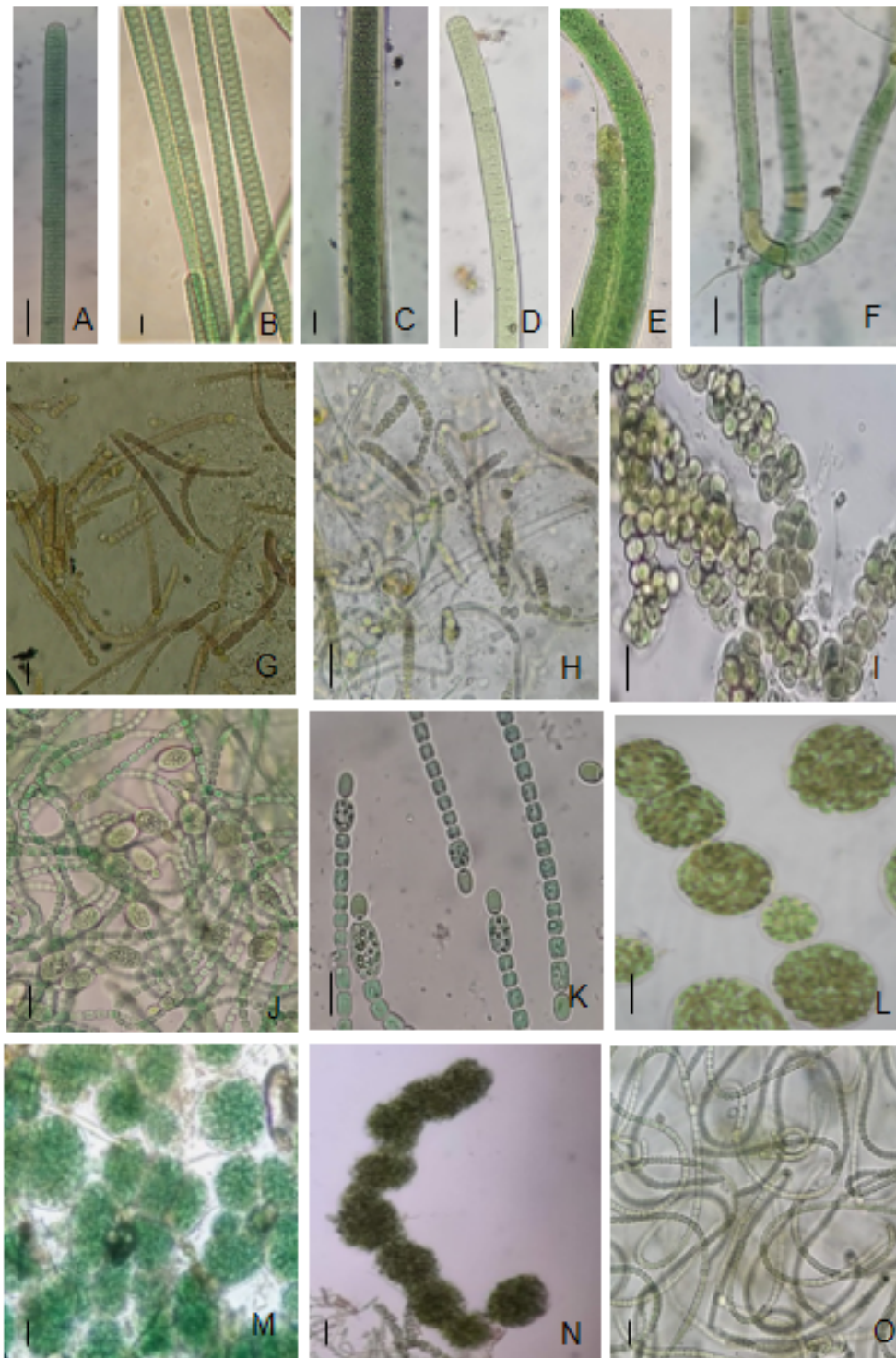
Dimensiones: Filamento ancho: 6-12  $\mu\text{m}$ ; células largo: 4-6  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5-9  $\mu\text{m}$ ; heterocito largo: 4-10  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5-9  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Sobre suelos, rocas, cosmopolita (Kömerek *et al.*, 2013).

*Distribución geográfica*: Cosmopolita (Kömerek *et al.*, 2013).

***Calothrix brevissima*** G. S. West (Fig. 7G)

Filamentos en grupos no muy numerosos, con vaina incolora, tricomas cortos que se adelgazan levemente hacia el extremo, no terminan en pelo. Células más cortas que anchas de coloración verde oliva a marronadas. Heterocitos esféricos a hemiesféricos.



**Fig. 7.** A: *Oscillatoria tenuis*. B: *O. subbrevis*. C: *Lyngbya maior*. D: *L. truncicola*. E: *Plectonema tomasinianum* var. *cincinnatum*. F: *Scytonema hoffmannii*. G: *Calothrix brevissima*. H: *C. clavata*. I: *Chlorogloeopsis fritschii*. J- K: *Cyndrospermum muscicola*. L: *Nostoc commune*. M: *N. edaphicum*. N: *N. punctiforme*. O: *Desmonostoc muscorum*. Escalas: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, N, O= 10 µm; L, M= 50 µm

Dimensiones: Tricomas largos: 40-50  $\mu\text{m}$ ; células largo: 2-4  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3-5  $\mu\text{m}$ ; heterocitos diámetro: 3-4  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Epífita sobre plantas acuáticas (Kömerek *et al.*, 2013). Citada para arrozales (Sikdar & Keshri, 2015).

*Distribución geográfica*: Citada para India (Sikdar & Keshri, 2015).

***Chlorogloeopsis fritschii*** (A. K. Mitra) A. K. Mitra & D. C. Pandey (Fig. 7I)

Talos compuestos por células formando paquetes, los mismos presentan forma redondeados o alargados y están rodeados por una vaina hialina. Las células son de coloración verdeazuladas de forma variada, esférica, barril, angulares o irregulares con contenido granular. Heterocitos terminales e intercalares, a menudo entre los grupos de células, no se observaron acinetos.

Dimensiones: Colonias largo: 80-120  $\mu\text{m}$ ; ancho 20-40  $\mu\text{m}$ ; diámetro celular: 3,5-8  $\mu\text{m}$ ; heterocito diámetro: 4-5  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Citada para arrozales (Halder, 2016).

*Distribución geográfica*: Mencionada para India (Halder, 2016).

***Nostoc punctiforme*** Hariot (Fig. 7N)

Colonias esféricas, semiesféricas a alargadas, tricomas rectos a levemente curvos. Células vegetativas esféricas o en forma de barril, verdeazuladas pálido o brillante. Heterocitos terminales en uno o ambos extremos, de forma esférica a levemente triangular. Heterocitos intercalares esféricos. Algunos tricomas presentaron vainas. No se observaron acinetos.

Dimensiones: Colonias largo: 30-50  $\mu\text{m}$ ; ancho: 8-12  $\mu\text{m}$ ; células vegetativas largo: 2,5-3  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3-4  $\mu\text{m}$ ; heterocitos diámetro: 4  $\mu\text{m}$ .

*Hábitat*: Citada para arrozales (Kömerek *et al.*, 2013).

*Distribución geográfica*: Citada para Bangkok, Tailandia (Kömerek *et al.*, 2013).

## Discusión

En las Sierras Chicas los incendios forestales constituyen un fenómeno recurrente, afectando a la vegetación superior,

la fertilidad edáfica y a los microorganismos autótrofos y heterótrofos que viven sobre la superficie del suelo (Mataix-Solera *et al.* 2007; Giorgis *et al.*, 2013).

Como resultado de este trabajo se pudo comprobar que los primeros organismos en desarrollarse en el suelo fueron las cianobacterias sin heterocitos, a los 7 días de iniciado el cultivo (15 días luego del incendio); resultados similares fueron obtenidos en el trabajo sobre suelo post-incendio de La Calera por Denegri *et al.* (2021) en suelos de bosque nativo Schinquel *et al.* (2018) y en suelos de las áreas agrícolas de Córdoba Murialdo *et al.* (2019). Posteriormente comenzaron su desarrollo las especies con heterocitos, que a diferencia con estudios anteriores (Schinquel *et al.*, 2018; Murialdo *et al.*, 2019), se observó una aparición más temprana a los 15 días, esta situación se puede atribuir a una disminución del nitrógeno disponible en los suelos afectados por el fuego tal como lo relacionan en sus trabajos Caon *et al.* (2014) y Rubenacker (2021). En este sentido, varios autores sugieren que el desarrollo de los heterocitos constituye un mecanismo de adaptación, que involucran procesos de regulación genética, asociados al déficit de nitrógeno (Muro-Pastor & Hess, 2012; Muro-Pastor, 2014). En tanto, el aumento de pH y fósforo en el suelo post-fuego se debería principalmente al aporte de cenizas (Mataix-Solera *et al.*, 2007).

Entre las especies determinadas *Microcoleus vaginatus* presentó la mayor frecuencia relativa en ambos suelos estudiados; dicho taxón es cosmopolita en suelos áridos y semiáridos y ha sido considerada como la especie dominante en las costras biológicas (García-Pichel *et al.*, 2003), sus filamentos están envueltos en una vaina gelatinosa formando una red que aglutina las partículas de suelo (Mager & Thomas, 2011) favoreciendo la colonización de otras cianobacterias, líquenes y musgos posteriormente (Weber *et al.*, 2016). Uno de los taxones exclusivos del suelo testigo fue *Cylindrospermum muscicola*, que es frecuente en suelos de uso agrícola y de bosque nativo en la provincia de Córdoba (Schinquel *et al.*, 2018; Murialdo *et al.*, 2019); en este trabajo

su ausencia en las muestras post-fuego pone en evidencia, en principio, su sensibilidad frente a los efectos de este, lo cual es coincidente con los resultados obtenidos por Denegri *et al.* (2021) en su trabajo. En cambio, especies como *Nostoc commune*, *N. edaphicum*, *N. punctiforme* y *Scytonema hofmanii* fueron dominantes en el suelo post-fuego, es conocido que estos taxones mejoran la estructura del suelo y participan en la agregación de partículas reduciendo los procesos erosivos (Chua *et al.*, 2014).

Los resultados de este trabajo contrastan con otros estudios de suelos post-incendios que involucraron organismos no vasculares (Perazzo & Rodríguez, 2019) donde resultó que las comunidades de líquenes y briófitos, tuvieron una recuperación muy baja luego del incendio en un bosque de *Polylepis australis*.

### Conclusiones

Se puede concluir que la disponibilidad de nitrógeno, contenido de CO y pH son las variables que definen la dinámica de la comunidad de cianobacterias. Por otro lado, la presencia de especies exclusivas en suelos que no fueron quemados implica que dentro de la comunidad hay especies sensibles al fuego tal como *C. muscicola*. Otras especies fueron dominantes en los suelos post-fuego tales como: *N. commune*, *N. edaphicum*, *N. punctiforme* y *S. hofmanii* y también especies comunes a ambos suelos como *M. vaginatus* y *O. limosa* que podrían ser consideradas como pioneras en la sucesión, luego de un evento disruptivo como son los incendios.

Es importante señalar que, en este trabajo de los 35 taxones identificados, se describen 13 que constituyen nuevas citas para la provincia de Córdoba.

El conocimiento de la comunidad local de cianobacterias edáficas nos permitirá avanzar en nuevos estudios de procesos de restauración de suelos post-incendios, dado que son microorganismos pioneros en la colonización y poseen una elevada capacidad adaptativa a diferentes ambientes terrestres, aún los más extremos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba (en el marco del Proyecto Consolidar 2018-2022 y del Proyecto Primar 2017-2018). También al Dr. Arnaldo Mangeaud por su asesoramiento en el análisis estadístico.

### Bibliografía

- ARANA, M. D., NATALE, E., FERRETTI, N., ROMANO, G., OGGERO, A., MARTÍNEZ, G., POSADAS, P. & MORRONE, J. J. (2021). Esquema biogeográfico de la República Argentina. Opera lilloana 56, Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- ARGAÑARAZ, J. P., GAVIER PIZARRO, G., ZAK, M., LANDI, M. A. & BELLIS, L. M. (2015). Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecology* 11: 55-73. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1101055>.
- BRAY, R. H. & KURTZ, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science* 59: 39-45.
- Виноградова, О. Н. & Михайлюк, Т. И. (2018). О Таксономии И Номенклатуре Некоторых Наземных Представителей Рода *Plectonema* s. l. (Cyanophyceae). 1. КАЗУС *Plectonema edaphicum* 28: 237-254.
- BREMNER, J. M. (1996). Nitrogen - Total. En SPARKS, D. L. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3 - Chemical Methods. Chapter 37*, pp. 1085-1112. ASA, SSSA, CSSA, Madison. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37>
- BÜDEL, B., DULIĆ, T., DARIENKO T., RYBALKA, N. & FRIEDL, T. (2016). Cyanobacteria and algae of biological soil crusts. En WEBER B., B. BÜDEL & J. BELNAP (eds.), *Biological soil crusts: an organizing principle in drylands*, *Ecological Studies* 226, pp. 55-80. Springer International Publishing, Cham.
- CABRERA, A. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. 2ed. *Enciclopedia Argentina Agricultura y Jardinería*. ACME, Buenos Aires.
- CABIDO, M., CARRANZA, M. L., ACOSTA, A. & PÁEZ, S. (1991). Contribución al conocimiento fitosociológico del Bosque Chaqueño Serrano en la provincia de Córdoba, Argentina. *Phytocoenología* 19: 547-566.
- CAON, L., VALLEJO V. R., RITSEMA, C. J. & GEISSEN V. (2014). Effects of wildfire on soil nutrients in



- Mediterranean ecosystems. *Earth-Science Reviews* 139: 47-58.
- CERTINI, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143:1-10.
- CHUA, J., ORLOVICH, D. & SUMMERFIELD, T. (2014). Cyanobacteria in New Zealand indigenous grasslands. *New Zealand Journal of Botany* 52: 100-115.
- CINGOLANI, A. M., VAIERETTI, M. V., GIORGIS, M. A., LA TORRE, N., WHITWORTH-HULSE, J. I. & RENISON D. (2013). Can livestock and fires convert the sub-tropical mountain rangelands of central Argentina into a rocky desert? *The Rangeland Journal* 35: 285-297.
- CONCOSTRINA-ZUBIRI, L., MARTÍNEZ, L., HUBER-SANNWALD, E. & ESCUDERO, A. (2013). Efectos y respuestas de la costra biológica del suelo en ecosistemas áridos: avances recientes a nivel de especie. *Ecosistemas* 2: 95-100. <https://10.7818/ECOS.2013.22-3.13>.
- CORBALÁN, M., HLADKI, A. I. & BIASUSO, A. B. (2017). Evaluación del deterioro antrópico y biológico en el petroglifo Piedra Pintada, San Pedro de Colalao, provincia de Tucumán. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano- Series Especiales* 5: 1-16.
- DENEGRI, A., FERNÁNDEZ BELMONTE, M. C. & CAMPITELLI, P. (2021). Cianobacterias como restauradoras de suelos incendiados: un caso de estudio en zonas semiáridas del centro-oeste de Argentina. *Multequina* 30: 99-114.
- DI RIENZO, J., BALZARINI M., GONZALEZ, L., CASANOVES, F., TABLADA, M. & ROBLEDI, C.W. (2018). InfoStat/L software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).
- FLORES MELO, X., DE LA ROSA, N., WENZEL, M. & DÍAZ, M. (2019). Cianobacterias ácido-termófilas del complejo termal Copahue, Neuquén, Argentina. *Darwiniana, nueva serie* 7: 39-56.
- GARCÍA-PICHEL, F., BELNAP J., NEUER, S. & SCHANZ, F. (2003). Estimates of global cyanobacterial biomass and its distribution. *Algological Studies* 109: 213-227.
- GIORGIS, M. A., CINGOLANI, A. M. & CABIDO M. (2013). El efecto del fuego y las características topográficas sobre la vegetación y las propiedades del suelo en la zona de transición entre bosques y pastizales de las sierras de Córdoba Argentina. *Boletín Sociedad Argentina Botánica* 48: 493-513.
- GUIRY, M. D. & GUIRY, G. M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>.
- GUARRERA, S. A. & ECHENIQUE, R. O. (1998). Cyanophyta: Hormogonophycidae, en *Flora Criptogámica de Tierra del Fuego*. Tomo 1- Fasc. 2, pp. 1-93. CONICET, Buenos Aires.
- GURVICH, D. E., ENRICO, L. & CINGOLANI, A. M. (2005). Linking plant functional traits with post-fire sprouting vigour in woody species in central Argentina. *Austral Ecology* 30: 789-796.
- HALDER, N. (2016). Note on taxonomy of *Chlorogloeopsis fritschii* (Mittra) Mitra & Pandey with soil analysis, collected from a rice field in West Bengal. *India Our Nature* 14: 92- 98. <http://dx.doi.org/10.3126/on.v14i11644>.
- KÖMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. (1999). Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. En Ettl H., G. GÄRTNER, H. HEYNIG & D. MOLLENHAUER (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/1, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm.
- KÖMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. (2005). Cyanoprokaryota 2. Teil. Oscillatoriales. En BÜDEL, B., KRIENITZ, L., GARTNER, G. & M. SCHAGERL (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/2. Elsevier/Spektrum, Heidelberg.
- KÖMÁREK, J., SANT'ANNA, C. L., BOHUNICKÁ, M., MAREŠ, J., HENTSCHEKE, G. S., RIGONATO, J. & FIORE, M. F. (2013). Phenotype diversity and phylogeny of selected Scytonema-species (Cyanoprokaryota) from SE Brazil. *Fottea* 13: 173-200.
- KÖMÁREK, J., KAŠTOVSKÝ, J., MAREŠ, J. & JOHANSEN, J. R. (2014). Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) using a polyphasic approach. *Preslia* 86: 295-235.
- LUTI, R., BERTRAND DE SOLIS, M. F., GALERA, M. F., MULLER DE FERREIRA, N., HERAL, M., NÜRES, H., HERRERA, M. A. & BARRERA, J. C. (1979). Vegetación. En VÁZQUEZ J. B., MIATELLO, R. A. & M. E. ROQUÉ (eds.), *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*, pp. 369-434. Ed. Boldt, Buenos Aires.
- MAGER, D. M. & THOMAS, A. D. (2011). Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: a review of their role in dryland soil processes. *Journal of Arid Environments* 75: 91-97.
- MATAIX-SOLERA, J., ARCENEGUI, V., GUERRERO, C., MAYORAL, A. M., MORALES, J., GONZÁLEZ J., GARCÍA-ORENES, F. & GÓMEZ, I. (2007). Water repellency under different plant species in a calcareous forest soil in a semiarid Mediterranean environment. *Hydrological Processes* 21: 2300-2309.

- MUHLSTEINOVA, R., JOHANSEN, J. R., PIETRASIAK, N., MARTIN, M. P., OSORIO-SANTOS, K., & WARREN, S. D. (2014). Polyphasic characterization of *Trichocoleus desertorum* sp. nov. (Pseudanabaenales, Cyanobacteria) from desert soils and phylogenetic placement of the genus *Trichocoleus*. *Phytotaxa* 163: 241-261.
- MULVANEY, R. L. (1996). Nitrogen-Inorganic forms. En Sparks, D. L. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3 - Chemical Methods*. Chapter 38. ASA & SSSA, CSSA, Madison WI.
- MURIALDO, R., FERNÁNDEZ BELMONTE, M. C., DAGA, I. C., GONZÁLEZ, C. & PESCI, H. E. (2019). Contribución al estudio de cianobacterias edáficas en un suelo con manejo agrícola de Córdoba - Argentina. *Ciencia del suelo* 37: 383-387.
- MURO-PASTOR, A. M. & HESS, W. R. (2012). Heterocyst differentiation: from single mutants to global approaches. *Trends Microbiology* 20: 548-57. <http://dx.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: 1-5. <https://doi.org/10.1128/mBio.01079-14> PMID: 24825011.
- MURIALDO, R., M., FERNÁNDEZ BELMONTE C., DAGA, I. C., GONZÁLEZ, C., GUDIÑO, G. & PESCI, H. E. (2018). Desarrollo de cianobacterias en suelos prístinos y con manejo de siembra directa en la región del espinal (Jesús María, Córdoba). *Diagonal Árida Argentina*, pp. 181-187. INTA-UNSL-UNComahue, Chubut.
- NELSON, D. W. & SOMMERS, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. En Sparks, D. L. (ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3-Chemical Methods*, pp. 961-1010. ASA, SSSA, CSSA, Madison WI.
- PERAZZO, A. & RODRIGUEZ, J. M. (2019). Impacto del fuego sobre la vegetación no vascular del suelo: Un caso de estudio en los bosques de *Polylepis australis* (Rosaceae) del centro de Argentina. *Lilloa* 56: 67-80. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2019.56.2/6>.
- RUBENACKER, A. (2021). Remediación de suelos de Córdoba afectados por incendios: análisis de las variaciones de las propiedades edáficas. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. URI <http://hdl.handle.net/11086/28194>.
- SACCÁ, M. L., CARACCILO, A. B., DI LENOLA, M. & GRENNI, P. (2017). Ecosystem services provided by soil microorganisms. *Soil biological communities and ecosystem resilience*, pp. 9-24. Springer, Cham.
- SCHINQUEL, V., MURIALDO, R. & DAGA, C. (2018). Cianobacterias edáficas en un relicto de monte nativo de la Provincia de Córdoba. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 5: 59-67.
- SIKDAR, J. & PRAKASH KESHRI, J. (2015). The Genera *Calothrix* Agardh ex Bornet et Flahault, *Gloeotrichia* J. Agardh ex Bornet et Flahault and *Rivularia* (Roth) C. Agardh ex Bornet et Flahault (Cyanoprokaryota: Nostocales) in West Bengal, India. *Vegetos* 28: 25-35.
- STRUNECKÝ, O., KÖMAREK, J. & SMARDA, J. (2014). *Kamptonema* (Microcoleaceae, Cyanobacteria), a new genus derived from the polyphyletic *Phormidium* on the basis of combined molecular and cytomorphological markers. *Preslia* 86: 93-208.
- TELL, G. (1971). Contribución al conocimiento de las algas del suelo bonaerense. II. Cianofíceas nuevas para la Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 13: 250-259.
- TELL, G. (1985). Catálogo de las Algas de Agua Dulce de la República Argentina. *Bibliotheca Phycologica*, 70. Vaduz: J. Cramer.
- THOMAS, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. En Sparks, D. L. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods*. Chapter 16. ASA, SSSA, CSSA, Madison WI.
- USDA-NRCS. (2014). *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.
- 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, Tokyo* 9: 162-166.
- WEBER, B., BÜDEL, B. & BELNAP, J. (eds.). (2016). *Biological soil crusts: an organizing principle in drylands*. Vol. 226. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.10.1007/978-3-319-30214-0>.
- WHITTON, B. A. & POTTS, M. (ed). *The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space. Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht- Boston 2000.