



Cianobacterias como restauradoras de suelos incendiados: un caso de estudio en zonas semiáridas del centro-oeste de Argentina

Cyanobacteria as burned soil restorer: a case study in semi-arid areas of central-western Argentina

ANDREA DENEGRI^{1*}, MARÍA CECILIA FERNANDEZ BELMONTE²
Y PAOLA CAMPITELLI³

¹ Facultad de Turismo y Urbanismo-Universidad Nacional de San Luis

² Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias- Universidad Nacional de San Luis

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias- Universidad Nacional de Córdoba
*andreadenegri211@gmail.com

RESUMEN

Las primeras colonizadoras de ambientes degradados, como en suelos incendiados, son las costras biológicas (CBS). El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los incendios sobre las especies de cianobacterias presentes en las CBS de sierras de Córdoba y San Luis, Argentina, y su potencial restaurador. Se recolectaron muestras de CBS de sitios quemados y sin quemar. Se analizaron en fresco y bajo condiciones de cultivo, mediante observaciones microscópicas tomando fotomicrografías e identificando taxonómicamente. Las especies se clasificaron en fijadoras (F), no fijadoras (NF) y estas a su vez en fijadoras heterocistadas (FH) y fijadoras no heterocistadas (FNH). Los incendios causan disminución porcentual a corto plazo en algunas especies de cianobacterias de las CBS. Los géneros *Nostoc* y *Scytonema* fueron las más resistentes a los efectos del fuego, *Nodularia* presentó condiciones intermedias y *Cylindrospermum* fue el más susceptible; todas son fijadoras. Para las NF *Oscillatoria* fue la más susceptible y *Phormidium* la menos afectada por efecto de las temperaturas. Se concluye que los incendios forestales tienen efectos diferentes según la especie de cianobacteria y estos están a su vez relacionados de manera directa con la intensidad del evento de fuego ocurrido.

ABSTRACT

The first colonizers of degraded environments, such as those in burned soils, are biological crusts (BCs). The objective of this work was to evaluate the impact of fires on cyanobacteria species present in the BCs on Córdoba and San Luis mountains, Argentina, and their restorative potential. BCs samples were collected from burned and unburned locations. They were analysed fresh and under culture conditions by means of microscopic observations taking photomicrographs and identifying them taxonomically. The species were classified into fixers (F), non-fixers (NF) and these, in turn, into heterocyst fixers (HF) and non-heterocyst fixers (NHF). Fires cause short-term percentage



declines in some species of BCs cyanobacteria. The Nostoc and Scytonema genera were the most resistant to the effects of fire; Nodularia presented intermediate conditions and Cylandrospermum was the most susceptible; all of them are fixers (F). For NF, Oscillatoria was the most susceptible and Phormidium was the least affected by the effects of temperatures. It is concluded that forest fires have different effects depending on the cyanobacteria species, and these are, in turn, directly related to the intensity of the fire event occurred.

Palabras clave: cianobacterias edáficas, suelos, incendios forestales

Keywords: *edaphic cyanobacteria, soils, forest fire*

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales que ocurren de manera reiterada en la región central Argentina son considerados uno de los principales modeladores del paisaje. Causan, entre otros efectos, destrucción de la vegetación y pérdidas de suelo, con la consecuente ruptura de equilibrios ecosistémicos (Karlin et al., 2014). En Argentina en particular, las provincias mediterráneas de Córdoba y San Luis poseen zonas de climas semiáridos con otoños e inviernos secos, donde los eventos de fuego ocurren de manera cíclica todos los años, especialmente al final de la estación seca (Rubenacker et al., 2011). Los suelos afectados por incendios muestran diferentes comportamientos en los parámetros edáficos según la severidad del evento ocurrido (Denegri et al., 2014; Sacchi et al., 2015). La erosión posterior del suelo afectado por incendios es causada principalmente por la destrucción de la cubierta vegetal, y también por el efecto negativo de la quema en la comunidad microbiana (Vázquez et al., 1993; Denegri et al., 2019).

Las costras biológicas del suelo (CBS) son comunidades de cianobacterias, algas, hongos, líquenes y musgos, unidos cohesivamente con partículas de suelo, que se desarrollan en varios milímetros a

centímetros del perfil y sobre todo en la capa superior del suelo (Evans & Johansen, 1999; Belnap & Lange, 2001; Belnap, 2006). Suministran servicios, como producción primaria, prevención de erosión del suelo, lixiviación de elementos (Beraldi Campesi et al., 2009), acondicionamiento del suelo, y fertilización con C y N recién fijados (Johnson et al., 2007). Estas CBS, contribuyen además al aumento de fósforo y potasio e incrementan la estabilidad del suelo (Dojani et al., 2007; Elbert et al., 2009).

La microtopografía conferida por las CBS puede controlar la infiltración de la lluvia, la redistribución de la humedad del suelo, la retención de agua y reducir la cantidad de escorrentía (Govers, et al., 2000; Darboux et al., 2002; Antoine et al., 2009; Zheng et al., 2014). Además, permite la formación de pequeños charcos en la superficie del suelo que aumentan la acumulación de polvo sedimentado, la capacidad de almacenamiento de agua y su tiempo de residencia (Rodríguez-Caballero et al., 2012; Williams et al., 2012). El control de la infiltración de la lluvia, la redistribución de la humedad del suelo, la retención de agua proporcionados por la rugosidad de las CBS, como consecuencia de un incremento en el relieve, podrían ser esenciales para el mantenimiento de los procesos ecológicos en los

sistemas áridos y semiáridos. El microrelieve de las CBS varía según el tipo de organismo dominante (Navas et al., 2019). De acuerdo a este criterio, las CBS se pueden clasificar como de microalgas y cianobacterias, de líquenes, hongos y de musgos. Las costras de cianobacterias y microalgas son la etapa pionera de la sucesión de CBS porque, a través de su fotosíntesis oxigénica y fijación de nitrógeno atmosférico pueden mejorar los entornos bióticos y abióticos para líquenes y musgos, que aparecerán en las últimas etapas de la sucesión (Zhang, 2005).

Las CBS de cianobacterias juegan un papel vital en los ciclos biogeoquímicos y los procesos geomorfológicos en los ecosistemas (Belnap, 2003; Zhang et al., 2009). Por lo tanto, muchos estudios se han centrado en las CBS de cianobacterias para restaurar y reconstruir vegetaciones en regiones áridas y semiáridas. Sin embargo, los efectos de los incendios sobre la composición de especies de CBS y en particular las dominadas por cianobacterias son escasamente conocidos

(Wang et al., 2007). El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los incendios sobre las especies de cianobacterias presentes en las CBS de suelos en las sierras de Córdoba y San Luis, Argentina, y en base a ello determinar la posibilidad de proponerlas como candidatas para su uso en restauración ecológica.

MATERIAL Y MÉTODO

Se recolectaron muestras de suelos y CBS pertenecientes a tres sitios afectados por incendios forestales en el año 2017 (**Figura 1**). Uno ubicado en las sierras de los Comechingones, localidad de Quebracho Ladeado (QL), Córdoba, Argentina $32^{\circ}16'11.99''$ S; $65^{\circ}01'42.85''$ O, con clima subhúmedo serrano, temperaturas promedio de 15.9°C y precipitación media anual de 638 mm, de distribución marcadamente estival con una variación anual de temperatura es de 14°C . El suelo es clasificado como misceláneas (áreas de variación en metros), encontrando suelos del tipo de los Ustorthents y otros

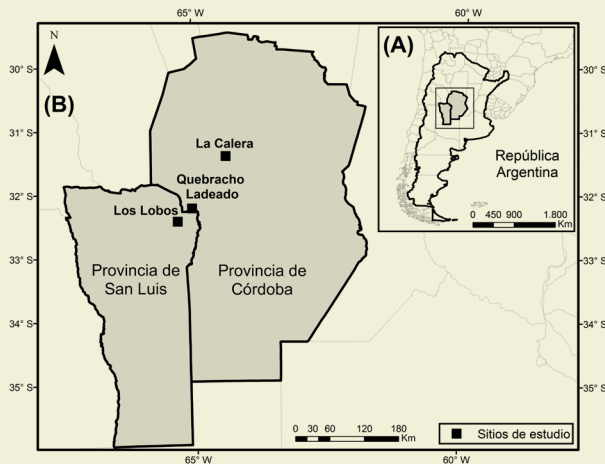


Figura 1. Sitios de muestreo. (Crédito: Fernando Farinaccio)
Figure 1. Sampling sites. (By Fernando Farinaccio)

algo más desarrollados del tipo de los Entisoles. El segundo sitio experimental se ubica en las Sierras Chicas de Córdoba, localidad de La Calera (LC), Córdoba Argentina 31°27'04.43" S; 64°23'37.25" O, presenta un clima subhúmedo con promedio anual de precipitaciones de 800 mm, de distribución marcadamente estival (640 mm). La temperatura media anual es de 16 °C (Dalmaso et al., 1997). El tipo de ambiente corresponde a un arbustal-pastizal, con suelo Haplustol lítico (USDA, 2010). El tercer sitio experimental se ubica en las sierras de San Luis, localidad de Los Lobos (LL) Argentina 32°28'28.19"; S 65°17'49.67"O. Los suelos de la región varían entre Haplustoles típicos y Haplustoles someros (Panigatti et al., 2008). El clima de la región es árido. La precipitación anual es de 600 mm aproximadamente y están concentradas entre los meses de octubre y marzo. La temperatura media anual es de 16°C, en invierno oscilan entre -12 y 24°C, pudiendo darse algunas nevadas aisladas. En verano las máximas se acercan a los 40° C y las mínimas a los 19°C (Panigatti et al., 2008). Respecto de la vegetación, la región pertenece al distrito fitogeográfico del Bosque Chaqueño Serrano.

Se tomaron muestras compuestas por 20 submuestras cada una de CBS en los sitios afectados por incendio y sus correspondientes testigos sin quemar, luego de tres días del evento de fuego. El muestreo se realizó en parcelas georreferenciadas de una superficie de 20 m x 20 m recolectando CBS superficiales mediante palita de mano limpia y seca y colocándolas en bolsa Ziploc rotulada, las muestras fueron trasladadas en medio oscuro hasta el laboratorio donde comenzó su tratamiento. Las muestras de suelos se toma-

ron de la misma manera que las de CBS, solo que estas a una profundidad de 5 cm y sin quitar el residuo superficial. Ambos tipos de muestras se acondicionaron secándolas al aire durante tres días y almacenándolas luego en envases individuales de vidrio esterilizados y se conservaron en ambiente seco y oscuro a temperaturas inferiores a los 20°C. Para su análisis en fresco, las CBS fueron hidratadas con agua destilada durante 24 horas. Cada muestra se analizó por triplicado. Los preparados de cianobacterias se observaron con microscopio óptico (Olympus BX50), perteneciente al Laboratorio de Morfología Vegetal de la FICA-UNSL. El análisis cuantitativo se llevó a cabo por porcentaje de cianobacterias en campos visuales (Sueldo, 2017); esta metodología se utiliza para el análisis de preparados de cianobacterias en microscopio óptico. Consiste básicamente en la adaptación del método de Daubenmire (1959) comúnmente utilizado para medir cobertura de especies en ecosistemas naturales. Una vez realizado el preparado, se procede a dividir la superficie del cubreobjeto en puntos de intercepción cada 5 x 5 mm (con la ayuda de las reglas en el microscopio) formando una cuadrícula. En cada uno de estos puntos se registra la cobertura de los diferentes grupos de cianobacterias (fijadoras heterocistadas [FH], fijadoras no heterocistadas [FNH] y no fijadoras [NF]).

Para la determinación taxonómica se siguió la metodología descrita por Desikachary (1959); Anagnostidis & Kőmárek (1990); Kőmárek & Anagnostidis (1998, 2005); Kőmárek & Hauer (2012); Kőmárek et al., (2014). Las muestras acondicionadas previamente, fueron llevadas a cámara de cultivo en

condiciones de fotoperíodo y temperatura controladas (12 h luz, 12 h oscuridad; entre 20 y 30 °C). El medio de cultivo (Watanabe, 1951), con el cual fueron regadas las muestras, fue preparado y luego esterilizado en autoclave a 120 °C durante 20 minutos. Una vez alcanzada la temperatura ambiente, se conservó en heladera (3-5°C). Las muestras fueron regadas periódicamente con el medio de cultivo utilizado. Cada siete días desde la siembra, y durante 7 semanas consecutivas, se tomaron muestras por triplicado con ansa y se realizaron preparadas. Para su observación y clasificación se empleó el mismo procedimiento descrito para el análisis en fresco. A las muestras de suelo se les determinó en laboratorio el pH en una relación 1:2,5 (suelo/agua deionizada); conductividad eléctrica (Ce) en extracto acuoso en una relación 1:2,5 (suelo/agua deionizada) después de 30 minutos de agitación mecánica; nitrógeno total (Nt) mediante el método propuesto por Bremner & Mulvaney (1982); fósforo extractable (Pext) mediante la técnica de Bray & Kurtz N° 1, y carbono oxidable (Cox). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis en fresco

Las muestras pertenecientes a la localidad de Quebracho Ladeado (QL), presentaron en el sitio quemado (QLQ) el 76% de especies NF y el 24% FNH, de las cuales solo el 5% presentó heterocistos. El testigo sin quemar (QLT) presentó 80% de NF y 20% de FNH. El análisis de las muestras tomadas en la localidad de

Los Lobos (LL) presentó en el sitio quemado (LLQ), 67% de especies NF y 33% de FNH, mientras que las CBS del sitio testigo (LLT) mostró 88% de especies NF y 12% de FNH. Por último, en las muestras de la localidad de La Calera (LC) se obtuvo, en el sitio quemado (LCQ), el 86% de especies NF y el 14% de FNH. En LCT se encontró 85% de especies NF y 15% de FNH (**Figura 2**). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Bowker (2004), quien detectó cambios significativos en bajas intensidades de fuego sobre las CBS. En la comparación porcentual del promedio de especies de cianobacterias encontradas en las CBS de suelos afectados por incendios y suelos testigos no quemados (gráfico 2) se observó que QL y LC presentaron diferencias menores entre los valores pertenecientes a especies F y NF entre suelos quemados (QLQ y LCQ), y suelos testigo sin quemar (QLT y LCT), lo que puede indicar a priori, la ocurrencia de incendios de baja a media intensidad. En tanto, para LL las diferencias encontradas de especies F y NF entre LLQ y LLT, son mayores, hecho que evidencia a priori la ocurrencia de un incendio de gran intensidad. Estos resultados coinciden con los obtenidos en las determinaciones químicas realizadas a las muestras de suelos de cada sitio bajo estudio (**Tabla 1**) donde se observa que las variaciones obtenidas en los parámetros químicos medidos son mayores en la localidad de LL intermedia en LC y baja en QL. Los tres sitios experimentales si bien, son diferentes en cuanto a suelo, clima y vegetación, presentan los mismos géneros de cianobacterias (*Nostoc*, *Scytonema*, *Phormidium* y *Oscillatoria*), mientras que *Cylindrospermum* solo se presenta en el sitio QL

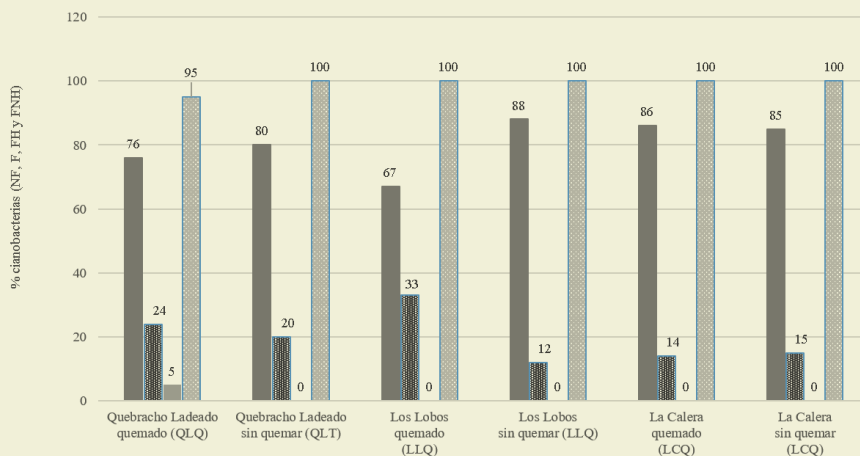


Figura 2. Comparación porcentual de cianobacterias presentes por sitios de muestreo
Figure 2. Percentage comparison of cyanobacteria present by sampling sites

Tabla 1. Resultados de análisis químicos de suelos de los tres sitios bajo estudio
Table 1. Results of chemical analysis of soils of the three sites under study

Muestra	Estado	pH	Conductividad eléctrica (ds/m)	Fósforo extractable (mg/kg -1)	Nitrógeno total (mg/kg -1)	Carbono oxidable (mg/kg -1)
Los Lobos (LL)	Sin quemar (LLT)	7,14	0,26	179,2	1,24	2,66
	Quemado (LLQ)	8,26	0,93	190,1	1,33	1,99
Quebracho Ladeado (QL)	Sin quemar (QLT)	6,31	0,08	22,4	0,18	1,97
	Quemado (QLQ)	7,16	0,23	72,05	0,27	2,23
La Calera (LC)	Sin quemar (LCT)	7,2	0,29	38,14	0,24	2,24
	Quemado (LCQ)	7,8	0,52	135,4	0,45	6,52

Análisis en condiciones de cultivo

En QLQ (**Figura 3**), al inicio de la etapa de cultivo (primeros 7 días) las especies NF fueron 43,5%, superiores a las que evidenció QLT. En cuanto a las especies F, mostraron resultados con diferencias más amplias, siendo los valores de QLQ un 92,5%, mayores que los del QLT, hecho que evidencia que el fuego tiene efectos inmediatos en la composición de cianobacterias presentes en las CBS y más aún sobre las especies F. A medida que transcurrió el tiempo, los valores porcentuales obtenidos para suelos quemados y testigos, aumentaron en todos los casos; a los 49 días (fin del experimento), para QLQ la relación entre especies F y NF se tornó inversa, predominando en este caso las especies F

en un 11% respecto a las NF. Los valores obtenidos para CBS del sitio testigo QLT, mostraron valores similares entre especies F y NF al final del experimento. Estos resultados pueden apoyar los resultados del análisis de suelos indicando que el efecto del incendio fue leve (debido a que causa nulos o mínimos cambios en los valores de los parámetros químicos medidos entre testigo y quemado) (**Tabla 1**) pero perduró en el tiempo. En las muestras pertenecientes a la localidad LL (**Figura 4**), si se analizan los valores porcentuales iniciales a los 7 días de la siembra, se observa que en LLQ las cianobacterias F se encontraron un 70% menos que en LLT. La comparación de valores para las especies NF mostraron que, en el sitio afectado por el fuego, LLQ, hay una disminución del 10% respecto de

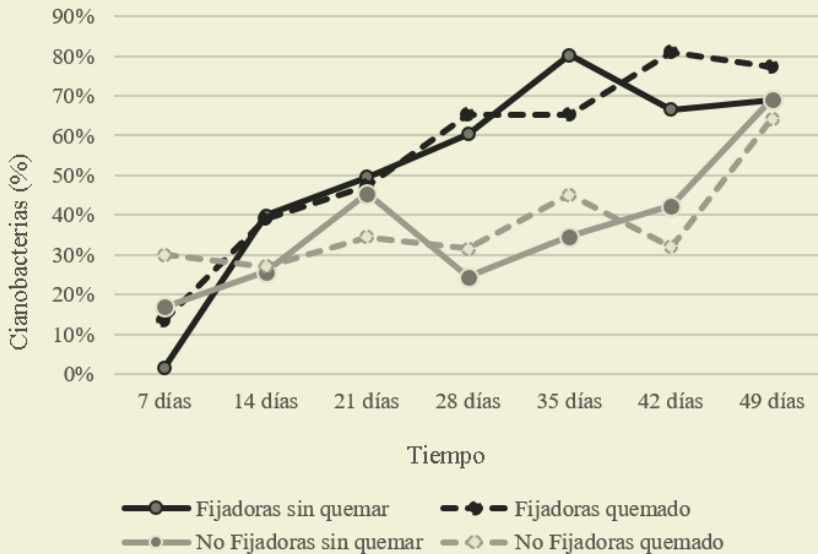


Figura 3. Evolución de cultivo en CBS de la localidad de Quebracho Ladeado QL
Figure 3. Cultivation evolution in CBS of the locality of Quebracho Ladeado QL

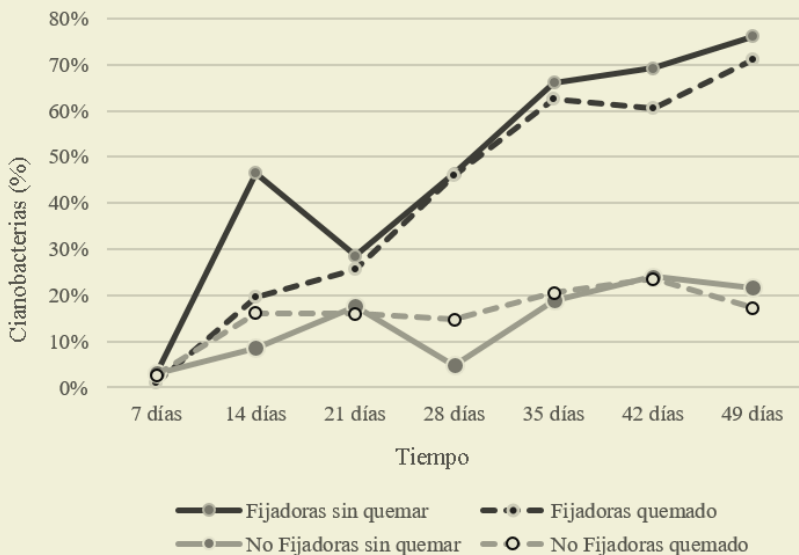


Figura 4. Evolución de cultivo en CBS de la localidad de Los Lobos LL
Figure 3. Cultivation evolution in CBS of the locality of Los Lobos LL

los valores del sitio testigo LLT. Estos resultados mostraron que, para este sitio el efecto inmediato del fuego es mayor en las especies F. Con el transcurso del tiempo las cianobacterias F y NF incrementan en todas las muestras. A los cuarenta y nueve días post siembra, las especies F son en LLQ 6,6% inferiores a las que presenta LLT, manifestando la capacidad de recuperación de estas especies a los efectos causados por el incendio forestal; mientras que el análisis de las NF mostró que LLQ posee valores 20,2% inferiores que los de LLT, mostrando ser más susceptibles a los efectos del fuego a largo plazo. En suelos provenientes de LC (**Figura 5**), a siete días de la siembra se observó para las CBS pertenecientes al suelo quemado LCQ, que las especies F presentan valores 83% inferiores a los de LCT, mientras que las NF mostraron

en LCQ valores 78% por encima de los de LCT. Estos resultados evidencian el efecto marcado inicial del fuego sobre las especies F. A medida que transcurre el tiempo las especies F aumentan para LCQ y LCT, estabilizándose aproximadamente a los 28 días posteriores a la siembra. Los valores porcentuales pertenecientes a las especies NF decrecen tanto en LCQ como LCT y se estabilizan entre los 28 y 35 días desde la siembra. Estos resultados permiten inferir que el evento de fuego ha sido de intensidad intermedia, en coincidencia con los resultados de las determinaciones químicas realizadas a los suelos del área bajo estudio (**Tabla 1**). A los 49 días desde el inicio del estudio las especies F se encontraron con un 1,1% por encima de su testigo LCT. Las NF mostraron un comportamiento similar, siendo en LCQ un 2%

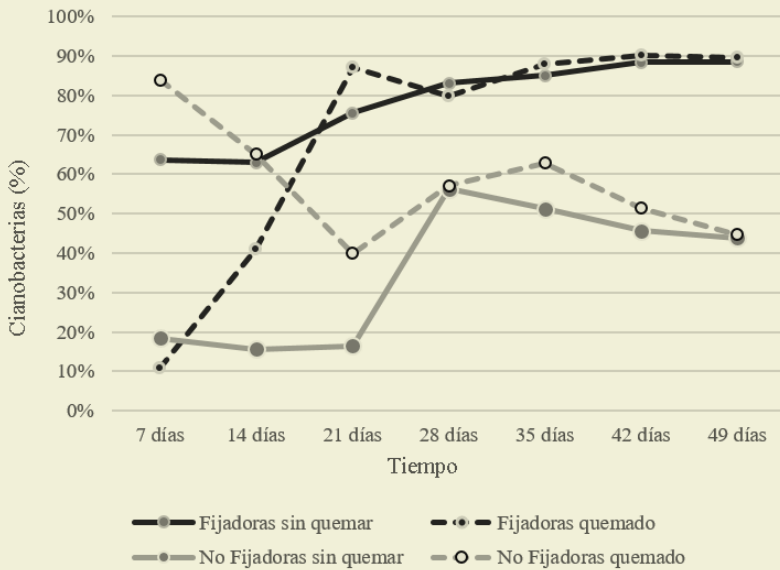


Figura 5. Evolución de cultivo en CBS de la localidad de La Calera LC
Figure 5. Cultivation evolution in CBS of the locality of La Calera LC

superior a LCT. Estos resultados pueden indicar que se ha tratado de un incendio de magnitud intermedia, observando los valores iniciales de LCQ en contraposición a los presentados por LCT, donde se detectaron diferencias importantes e inversas entre F y NF, al inicio del cultivo. Con el avance del tiempo las F en suelo quemado igualan los valores de F que presenta el testigo. Un comportamiento similar muestran las NF, evidenciando que la capacidad de recuperación de CBS es posible de manera natural.

Análisis de especies en los tres sitios bajo estudio y su relación con el efecto del fuego

En LL las especies F dominantes pertenecen a los géneros *Nostoc*, *Nodularia* y *Scytonema*, mientras que *Phormidium* y

Oscillatoria a las NF. En la comparación porcentual de especies presentes en sitios afectados por el fuego LLQ y su testigo sin quemar LLT, se observó para las F que solo el género *Nodularia* presenta cambios ocasionados por el efecto del incendio, disminuyendo su presencia en un 35% respecto a los valores de su testigo LLT. En tanto, para la categoría NF el género *Oscillatoria* mostró una disminución del 50% en LLQ respecto a LLT. A los 14 días posteriores al inicio del cultivo, en ambos casos LLQ y LLT, las especies fijadoras presentaron heterocistos pero nunca llegaron a ser 100% heterocistadas. En QL, las especies F estuvieron representadas por los géneros *Nostoc*, *Nodularia* y *Scytonema* que se encuentran en QLQ, mientras que en QLT se presentaron las tres anteriores más *Cylindrospermum*. Este resultado

pone en evidencia la susceptibilidad de este género a los efectos del fuego, ya que en las CBS de sitios afectados por el incendio desaparece por completo. En este caso, la aparición de heterocistos se presenta para QLT al inicio del cultivo y se mantiene a lo largo del tiempo, mientras que en QLQ los heterocistos se manifiestan a los 35 días posteriores al inicio del cultivo. Esto puede ser explicado por las características (Tabla 2) del suelo y la ocurrencia de un incendio de intensidad leve que ha dejado disponible nitrógeno y fósforo en los residuos de la combustión. Tanto en QLQ como QLT luego de 35 días todas las especies F presentaron heterocistos en el 100% de los casos (Tabla 3). En cuanto a las especies representantes de NF, tanto para QLQ como QLT los géneros encontrados pertenecieron a *Oscillatoria* y *Phormidium*. En este caso solo el género *Oscillatoria* mostró diferencias en CBS de QLQ y QLT, siendo en QLT un 13,5% menor su porcentaje de aparición que en QLQ. Por último, en el análisis realizado a las muestras de LC, las especies pertenecientes a las F estuvieron representadas por los géneros *Nostoc*, *Nodularia* y *Scytonema* teniendo *Nostoc* y *Nodularia* mayor presencia en LCQ que LCT. En relación con la aparición de heterocistos, se observa que en LCQ a los 14 días comienzan a aparecer, mientras que en LCT a los 28 días; para ambos casos a partir de los 28 días las especies desarrollan heterocistos en el 100% de las muestras analizadas. Esto puede explicarse en parte debido a que en estas condiciones de suelo e incendio de intensidad moderada hacen que el N y P disponibles en las cenizas se consuman rápidamente teniendo las especies la necesidad de fijar N atmosférico. Las especies que representaron a las NF fue-

ron *Oscillatoria* y *Phormidium*. En LCQ el porcentaje de *Oscillatoria* es 50% menor a las que se cuantifican en LCT, resultado que sugiere la susceptibilidad de este género a los efectos del fuego de intensidad media.

CONCLUSIONES

La intensidad de los incendios fue de menor a mayor intensidad siguiendo el orden, Quebracho Ladeado (QL), La Cadera (LC) y Los Lobos (LL). Los valores observados en suelos quemados, respecto a sus testigos indican que la intensidad del incendio está directamente vinculada a la relación porcentual de las cianobacterias presentes en las CBS analizadas. Esto permite concluir que el fuego tiene efectos inmediatos en la cantidad y composición de cianobacterias presentes en las CBS de los suelos estudiados. La magnitud de este efecto está directamente relacionada con la intensidad de incendio ocurrido. Las especies FH *Nostoc*, *Nodularia* y *Scytonema* se encuentran en los tres sitios y *Cylindrospermum* solo en QL; de estas, *Nostoc* y *Scytonema* son las más resistentes a los efectos del fuego, *Nodularia* presenta condiciones intermedias y las especies F del género *Cylindrospermum* son altamente susceptibles a los efectos de incremento calórico causado por el fuego. Las cianobacterias fijadoras de nitrógeno presentes en los suelos de las Sierras Chicas de la provincia de San Luis, localidad de Los Lobos, se ven altamente afectadas por la ocurrencia de incendios forestales, pero tienen la capacidad de volver a reproducirse rápidamente, aun cuando el incendio ocurrido haya sido de gran intensidad. Para los tres sitios bajo estudio, *Phormidium*, y *Oscillatoria* representan a las especies NF

Tabla 2. Resultados porcentuales promedio de cultivos en medio específico para todos los tratamientos
Table 2. Average percentage results of cultures in specific medium for all treatments

Tiempo (días)	Grupo de cianobacterias	Muestra					
		Los Lobos (LL)		Quebracho Ladeado (QL)		La Calera (LC)	
		Sin quemar (LLT)	Quemado (LLQ)	Sin quemar (QLT)	Quemado (QLQ)	Sin quemar (LCT)	Quemado (LCQ)
7	Fijadoras	3	0,9	1,5	13,4	63,64	10,83
	No Fijadoras	3	2,7	17	30	18,46	83,87
14	Fijadoras	46,44	19,56	39,93	38,9	62,91	40,91
	No Fijadoras	8,63	16,08	25,64	27,14	15,55	65,09
21	Fijadoras	28,53	25,53	49,66	47,43	75,52	86,94
	No Fijadoras	17,64	16	45,48	34,43	16,51	39,88
28	Fijadoras	46,34	45,86	60,4	65,18	83,05	79,87
	No Fijadoras	4,77	14,71	24,44	31,61	56,23	57,07
35	Fijadoras	66,15	62,43	80,21	65,13	85,01	87,92
	No Fijadoras	18,85	20,47	34,62	45,16	51,25	62,77
42	Fijadoras	69,24	60,45	66,46	80,95	88,37	90,03
	No Fijadoras	24,04	23,55	42,34	31,97	45,66	51,37
49	Fijadoras	76,17	71,14	68,84	77,35	88,57	89,52
	No Fijadoras	21,59	17,24	69,13	64,23	43,82	44,73

Muestra	Estado	Grupo de cianobacterias	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días	49 días	%	
La Calera (LC)	Sin quemar (LCT)	Fijadoras	-	-	Ns	Ns**	Ns**	Ns**	Ns**	71,43%	
			Nd	Nd	Nd**	Nd**	Nd**	-	-	71,43%	
			Sc	Sc	Sc**	-	-	-	-	42,85%	
		No Fijadoras	Os	Os	Os	Os	-	-	-	57,14%	
			Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	100%
	Quemado (LCQ)	Fijadoras	Ns	Ns*	Ns**	Ns**	Ns**	Ns**	Ns**	Ns**	100%
			Nd	Nd*	Nd**	Nd**	Nd**	Nd**	Nd**	Nd**	100%
			Sc	Sc	Sc	-	-	-	-	-	42,85%
		No Fijadoras	Os	Os	-	-	-	-	-	-	28,57%
			Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	Pm	100%

Nota

Especies. Ns: *Nostoc*; Nd: *Nodularia*; Cy: *Cylindrospermum*; Sc: *Scytonema*; Os: *Oscillatoria*; Pm: *Phormidium*.

* Aparición de heterocistos. ** Heterocistos en el 100% de las muestras de fijadoras

Note

Species. Ns: *Nostoc*; Nd: *Nodularia*; Cy: *Cylindrospermum*; Sc: *Scytonema*; Os: *Oscillatoria*; Pm: *Phormidium*.

* Appearance of heterocysts. ** Heterocysts in 100% of the fixer samples

siendo esta quien presenta mayores variaciones en relación al impacto del fuego. La aparición de heterocistos en las especies F es dependiente del tipo de suelo y las condiciones ambientales asociadas a la intensidad del incendio, y la relación nutricional que queda post fuego en cada caso particular. Estos resultados son altamente valiosos a la hora de planificar restauración de sitios afectados por incendios forestales a gran escala, ya que las CBS están presentes en casi todas las ecorregiones áridas y semiáridas del mundo, donde aportan propiedades edáficas fundamentales para el funcionamiento y en la dinámica ecosistémica.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAGNOSTIDIS, K. & J. KÖMÁREK, 1990. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 5- Stigonematales. *Algological Studies* 59: 1-73.
- ANTOINE, M., M. JAVAUX & C. BIELDERS, 2009. What indicators can capture runoff-relevant connectivity properties of the micro-topography at the plot scale? *Advances in Water Resources* 32: 1297-1310.
- BELNAP, J. & O.L. LANGE, 2001. Structure and functioning of biological soil crusts: a synthesis. En: Belnap, J. & O.L. Lange (Eds.). *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*, pp. 471-479. Springer, Berlin, Heidelberg.
- BELNAP, J. & O. LANGE, 2003. *Biological soil crust structure and function*. Springer, Berlin.
- BELNAP, J., 2006. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes* 20: 3159-3178.
- BELNAP, J., 1993. Recovery rates of cryptobiotic soil crusts: inoculant use and assessment methods. *Great Basin Naturalist* 53, 89-95.
- BELNAP, J., J. WELTER, N. GRIMM, N. BARGER & J. LUDWIG, 2005. Linkages between microbial and hydrologic processes in arid and semiarid watersheds. *Ecology* 86: 298-307.
- BERALDI-CAMPESI, H., H. HARTNETT, A. ANBAR, G. GORDON & F. GARCIA-PICHEL, 2009. Effect of biological soil crusts on soil elemental concentrations: implications for biogeochemistry and as traceable biosignatures of ancient life on land. *Geobiology* 7: 348-359.
- BOWKER, M., J. BELNAP, D. DAVIDSON & S. PHILLIPS, 2005. Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: importance to arid-lands restoration. *Ecological Applications* 15: 1941-1951.
- BREMNER J. & C. MULVANEY, 1982. Nitrogen total. En: Page, A. & R. Miller (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc. pp. 595-624.
- DALMASSO, A., R. CANDIA & J. LLERA, 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina* 6: 85-91
- DARBOUX, F., P. DAVY & C. GAS-CUEL-ODOUX, 2002. Effect of depression storage capacity on overland-flow generation for rough horizontal surfaces: water transfer distance and scaling. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 177-191.
- DENEGRI, A., 2019. Determination of cyanobacteria present in biological crusts of soils affected by forest fire. *BIOCELL-2019*. 169. 77
- DENEGRI, A., L. TORANZO, A. RUBENACKER, P. CAMPITELLI & M. KARLIN, 2014. Efecto de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo. *Nexo Agropecuario* 2(1-2) 10-14
- DAUBENMIRE, R.F., 1959. A canopy coverage method. *Northwest Science* 33: 43-64.

- DESIKACHARY, T.V., 1959. Cyanophyta. Botany Department. University of Madras. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi. Evans y Johansen (1999)
- DI RIENZO, J., M. BALZARINI, L. GONZALEZ, F. CASANOVES, M. TABLADA & C.W. ROBLEDO, 2010. InfoStat/L software estadístico versión 2018. Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).
- DOJANI, S., M. LAKATOS, U. RASCHER, W. WANEK, U. LÜTTGE & B. BÜDEL, 2007. Nitrogen input by cyanobacterial biofilms of an inselberg into a tropical rainforest in French Guiana. *Flora* 202(7): 521-529.
- ELBERT, W., B. WEBER, B. BÜDEL, M.O. ANDREAE & U. PÖSCHL, 2009. Microbiotic crusts on soil, rock and plants: neglected major players in the global cycles of carbon and nitrogen? *Biogeosciences Discussions* 6: 6983-7015.
- EVANS, R. & J. JOHANSEN, 1999. Microbiotic crusts and ecosystem processes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18(2): 183-225.
- GARCIA-PICHEL, F., S. JOHNSON, D. YOUNGKIN & J. BELNAP, 2003. Small-Scale Vertical distribution of bacterial biomass and diversity in biological soil crusts from arid lands in the Colorado Plateau. *Microbial Ecology* 46: 312-321.
- GOVERS, G., I. TAKKEN & K. HELMING, 2000. Soil roughness and overland flow. *Agronomie* 20: 131-146.
- JOHANSEN, M.P., T. E. HAKONSON & D.D. BRESHEARS, 2001. Post-fire runoff and erosion from rainfall simulation contrasting forest with shrublands and grasslands. *Hydrological Processes* 15: 2953-2965.
- JOHANSEN, J.R., A. JAVAKUL & S.R. RUSHFORTH, 1982. Effects of burning on the algal communities of a high desert soil near Wallsburg, Utah. *Journal of Range Management* 35: 598-600.
- JOHANSEN, J.R., L.L. ST CLAIR, B.L. WEBB & G.T. NEBECKER, 1984. Recovery patterns of cryptogamic soil crusts in desert rangelands following fire disturbance. *The Bryologist* 87: 238-243.
- JOHANSEN, J.R., J. ASHLEY & W.R. RAYBURN, 1993. Effects of fire on soil algal crusts in semi-arid shrub-steppe of the lower Columbia Basin and their subsequent recovery. *Great Basin Naturalist* 53: 73-88.
- JOHANSEN, J.R., L.L. ST. CLAIR, R.D. EVANS, V.R. FLECHTNER, J. BALCZON & B.L. WEBB, 1998. Resilience of biological soil species to military training pressures: natural and stimulated recovery following disturbance. Final Report for Contract DACA88-95-C-0015, submitted to the US Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL.
- JOHNSON, S., S. NEUER & F. GARCIA PICHEL, 2007. Export of nitrogenous compounds due to incomplete cycling within biological soil crusts of arid lands. *Environmental Microbiology* 9: 680-689.
- KARLIN, M., A. ARNULPHI, A. ALDAY, J. BERNASCONI, R. ACCIETTO, A. DENEGRI A. RUBENACKER, L. TORANZO & P. CAMPITELLI, 2014. Efecto de la aplicación de compost sobre la revegetación natural de suelos afectados por incendios. *Nexo Agropecuario* 2(1-2): 6-9.
- KÖMÁREK J. & K. ANAGNOSTIDIS, 1998. *Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales*, Jena, Gustav Fischer Publishers.
- KÖMÁREK J. & K. ANAGNOSTIDIS, 2005. *Cyanoprokaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales*, Heidelberg, Elsevier/Spektrum Publishers.
- KÖMÁREK J. & T. HAUER, 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.
- KÖMÁREK, J., J. KAŠTOVSKÝ MAREŠ & J.R. JOHANSEN, 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) using a polyphasic approach. *Preslia* 86(4): 295-235.

- KÖMÁREK, J., C.L. SANT'ANNA, M. BOHUNICKÁ, J. MAREŠ, G.S. HENTSCHKE, J. RIGONATO & M.F. FIORE, 2013. Phenotype diversity and phylogeny of selected *Scytonema*-species (Cyanoprokaryota) from SE Brazil. *Fottea* 13(2): 173-200.
- NAVAS ROMERO, A.L., M.A. HERRERA MORATTA, E. MARTÍNEZ CARRETERO, M.C. FERNÁNDEZ BELMONTE & M.A. DUPLANCIC, 2019. Caracterización microtopográfica e influencia de las costras biológicas en la rugosidad del suelo en el centro-oeste de la Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 54: 533-551.
- PANIGATTI, J.L., G. CRUZATE, J.C. ECHEVERRÍA & D. COLLADO, 2008. Carta de Suelos y ambientes de San Luis. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.
- RODRÍGUEZ-CABALLERO, E., Y. CANTÓN, S. CHAMIZO, A. AFANA & A. SOLÉ-BENET, 2012. Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology* 145-146: 81-89
- RUBENACKER, A., P. CAMPITELLI, M. VELASCO & S. CEPPI, 2011. Fire impact in several chemical and physicochemical parameters in a forest soil. En: Hernandez Soriano, M. C. (Ed.). *Soil Health and Land Use Management* (Chapter 5).
- SACCHI, G., P. CAMPITELLI & P. SORIA CEPPI, 2015. Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico. *Spanish Journal of Soil Science* 5(3): 214-226.
- SUELDO, R.A., 2017. Relevamiento de cianobacterias edáficas autóctonas en ambientes áridos-semiáridos y subhúmedos de la Región Pampeana Argentina. Trabajo Final. FICA - UNSL. Villa Mercedes, San Luis.
- USDA, 2010. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 11° Edición, 374 pp.
- VÁZQUEZ, F.J., M.C. ACEA & T. CARBALLAS, 1993. Soil microbial populations after wildfire. *FEMS Microbiology Ecology* 13: 93-104.
- WANG X., M. KENT & X. FANG, 2007. Evergreen broad-leaved forest in Eastern China: its ecology and conservation and the importance of resprouting in forest restoration. *Forest Ecology and Management* 245: 76-87.
- WATANABE, A., 1951. Production in cultural solution of some aminoacids by the atmospheric nitrogen-fixing blue-green algae. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 34(1): 10-55.
- WILLIAMS, A., B. BUCK & M. BEYEN, 2012. Biological soil crusts in the Mojave Desert, USA: micromorphology and pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal* 76: 1685-1695.
- ZHANG, Y.M., 2005. The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. *Chinese Science Bulletin* 50(2): 117-121.
- ZHENG, Z., S. HE & F. WU, 2014. Changes of soil surface roughness under water erosion process. *Hydrological Processes* 28: 3919-3929. <https://doi.org/10.1002/hyp.9939>

Recibido: 11/2020

Aceptado: 03/2021