



Costra biológica del suelo y su efecto en la germinación y establecimiento de dos especies perennes forrajeras del NE patagónico: consideraciones para la restauración ecológica

Effect of biological soil crust on germination and establishment of two perennial grasses from NE of the Patagonian region: considerations for ecological restoration

JUAN MANUEL ZEBERIO^{1,2*} Y GUADALUPE PETER^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Río Negro. Sede Atlántica
Centro de Estudios Ambientales desde la NorPatagonia (CEANPa)

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

* <jmzeberio@unrn.edu.ar>

RESUMEN

La CBS tiene un rol importante en numerosos aspectos funcionales de los ecosistemas áridos y semiáridos. En particular tienen un rol determinante ofreciendo micrositios aptos para que se establezcan y desarrollen especies de plantas vasculares. La costra biológica del suelo (CBS) sería importante para asistir a la restauración ecológica de tierras degradadas por el uso y favorecer el desarrollo de comunidades nativas de valor ecológico. El objetivo de nuestro trabajo es examinar la emergencia y el establecimiento de plántulas de *Pappophorum caespitosum* y *Nassella longiglumis*, dos gramíneas nativas de importancia forrajera, en relación con la presencia de CBS y la cantidad de agua disponible. Los resultados obtenidos permiten observar que las diferencias en la emergencia y establecimiento de las gramíneas estudiadas estuvieron relacionadas, en mayor medida, con la disponibilidad de agua y no con la cobertura de CBS. Para llevar adelante trabajos de restauración ecológica que incluyan la CBS y especies forrajeras nativas, se deberían tener en cuenta aspectos vinculados a los regímenes de precipitación y temperatura. Los resultados obtenidos no permiten afirmar si la CBS tiene un efecto positivo o negativo sobre el establecimiento de plántulas de estas especies, pero sí permite conocer su comportamiento bajo diferentes condiciones hídricas del suelo.

ABSTRACT

*Biological soil crust (BSC) plays an important role in numerous functional aspects of arid and semi-arid ecosystems. Particularly, it plays a decisive role in offering suitable microsites for establishment and development of vascular plant species. BSC would be important to assist the ecological restoration of land degraded by use and increase the development of native communities with ecological value. The objective of this work was to examine the emergence and establishment of seedlings of *Pappophorum caespitosum* and *Nassella longiglumis*, two native grass species, in*



relation to the presence of BSC and water availability. The results obtained allow us to observe that the differences in the emergence and establishment of the herbaceous species studied were related with the availability of water and not with the coverage of BSC. In order to carry out ecological restoration works that include CBS and native forage species, aspects related to precipitation and temperature regimes should be taken into account. The results obtained do not allow us to state whether CBS has positive or negative effect on the establishment of seedlings of these species, but they do allow us to know their behavior under different soil water conditions.

Palabras clave: especies nativas, Monte, costra biológica del suelo, humedad del suelo

Keywords: native species, Monte, biological soil crust, soil humidity

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas ocupan alrededor del 40 % de los ecosistemas terrestres y son afectadas por procesos de degradación antrópica, que causan la pérdida de su funcionalidad, sus servicios y el deterioro socioecológico de todo el sistema (Maestre et al., 2008). Para combatir esta degradación, en todos los continentes es frecuente encontrar experiencias de restauración basadas en el empleo de costras biológicas del suelo (CBS) (Bowker et al., 2007; Antonika et al., 2014; Fick et al., 2016).

La CBS es una comunidad integrada por cianobacterias, algas verdes, líquenes, briófitos y otros organismos que viven asociados en los primeros centímetros de la superficie del suelo (Belnap, 2003) y son comunes en una gran variedad de ecosistemas, incluidos los ecosistemas áridos y semiáridos. La CBS tiene importantes funciones ecológicas y su presencia suele implicar cambios edáficos significativos, tanto físicos como químicos (Belnap et al., 2001). En zonas áridas y semiáridas la CBS otorga estabilidad al suelo superficial y lo protege de la erosión hídrica y eólica (Belnap & Gardner, 1993). También genera cambios en el microrrelieve del suelo y en su

textura, infiltración y temperatura (Belnap 1994; 2001; Navas Romero, 2019). Además, este conjunto de organismos contribuye a mejorar la fertilidad de los suelos a través de la fijación de carbono y nitrógeno atmosférico, la acumulación de fósforo y potasio intercambiable, la retención de partículas de suelo y semillas (Belnap, 1994; Hawkes, 2003), y participa en los ciclos hidrológicos (Johansen, 1993). Los cambios edáficos producidos por estas comunidades afectan la germinación, el establecimiento y el desarrollo de las plantas vasculares (Belnap, 2001). En este sentido, la CBS posee influencia sobre las características de las comunidades vegetales que se desarrollan sobre ellas, como la densidad, el tamaño, la composición específica y la estructura (Belnap, 2006).

Existen varios trabajos que analizan la influencia de la CBS sobre las comunidades de plantas vasculares, puntualmente la relación con el establecimiento y la cobertura. Estos trabajos muestran interacciones positivas o neutras (Belnap et al., 2001; Maestre & Cortina, 2005), mientras que otros indican que la CBS afecta negativamente la germinación (Langhans et al., 2009). Además, bajo las mismas condiciones ambientales, la CBS difiere del suelo desnudo adyacente por

presentar menor temperatura y mayor humedad (Verecchia et al., 1995; Godínez Álvarez et al., 2012). Por lo tanto, la CBS tendría un rol determinante en la germinación de semillas a través de cambios de temperatura y humedad, que son las condiciones ambientales que influyen en la dormición y el metabolismo de las semillas (Baskin & Baskin, 1998).

La CBS presente en el noreste de la Patagonia está dominada por musgos. Las especies más abundantes son *Syntrichia princeps* (De Not.) Mitt. y *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. (Kröpfl et al., 2007). Estas comunidades cubren los espacios entre arbustos en áreas con baja presión de pastoreo donde el pisoteo es reducido (Calabrese et al., 2013) y, en áreas asociadas a mayores intensidades de pastoreo, aparecen asociadas a las especies leñosas dominantes (Funk et al., 2014).

La CBS del suelo surge como una importante herramienta para ser utilizada en la restauración ecológica de ecosistemas áridos y semiáridos degradados por el uso (Havrilla et al., 2020). Sin embargo, es importante evaluar el efecto que la CBS presente en el noreste de la Patagonia tiene sobre las comunidades de plantas vasculares nativas. El objetivo de nuestro trabajo es examinar la emergencia y el establecimiento de plántulas de dos especies de gramíneas nativas de importancia forrajera (*Nassella longiglumis* y *Pappophorum caespitosum*), en relación con la presencia de CBS y con la cantidad de agua disponible. Nuestra hipótesis es que existen procesos de facilitación de la CBS sobre la emergencia y el establecimiento de estas gramíneas, pero que bajo condiciones de estrés hídrico, la CBS y las plantas vasculares compiten por recursos. Por lo tanto, la germina-

ción y el establecimiento serían mayores sobre CBS que sobre suelo desnudo, pero a medida que el agua disponible es menor, disminuirían ambos procesos sobre la CBS.

MATERIAL Y MÉTODO

El noreste de la Patagonia está situado en la provincia fitogeográfica del Monte (León et al., 1998). La fisonomía característica de la vegetación es de una estepa arbustiva, de altura variable y nunca superior a los tres metros, donde se encuentran elementos arbóreos y arbustivos aislados formando parches de vegetación. El estrato herbáceo está conformado por una gran variedad de especies anuales y perennes que ofrecen forraje a animales domésticos y silvestres (León et al., 1998; Morello et al., 2012). Horizontalmente, la vegetación se distribuye en una matriz de suelo desnudo en la que se presentan islas dominadas por especies arbustivas en compañía de hierbas y otras especies leñosas (Golluscio et al., 1998). Sobre el suelo de estos montículos, como así también entre ellos, se desarrollan las comunidades de musgos, líquenes, algas verdes, hepáticas y cianobacterias que conforman la CBS (Belnap et al., 2001; Cortina et al., 2010; Gómez et al., 2012). Su composición y morfología es muy variable y está sujeta, principalmente, a la textura del suelo y a las condiciones climáticas del área (Belnap et al., 2001; Navas Romero, 2019).

En trabajos previos se observó que las gramíneas perennes registradas con mayor frecuencia fueron *Nassella longiglumis* (Phil.) Barkworth y *Pappophorum caespitosum* R.E. Fr. (Torres Robles et al., 2015; Zeberio et al., 2018). Estas se destacan por estar presentes en una amplia

variedad de ambientes y por poseer un elevado grado de preferencia por parte del ganado. Además, estas especies son importantes para ser empleadas en ensayos de restauración y rehabilitación, ya que generan estructuras reproductivas viables en el primer año de su ciclo de vida (Zeberio & Pérez, 2020). También poseen diferentes ciclos vegetativos debido a sus vías fotosintéticas C_3 y C_4 , respectivamente, lo que las hace útiles para su uso en diferentes épocas del año.

Para evaluar el efecto que la CBS tiene sobre la emergencia y el establecimiento de *N. longiglumis* y *P. caespitosum* se llevó a cabo un experimento en invernadero, que consistió en colocar semillas en contenedores plásticos con seis tratamientos: costra biológica del suelo (CBS) y suelo desnudo (SD) al 75 %, 50 % y 25 % de su capacidad de campo, respectivamente.

Para cada especie se efectuaron tres réplicas por cada uno de los seis tratamientos resultantes de la combinación de cobertura del suelo (con CBS y suelo desnudo) y contenido de agua (75 %, 50 % y 25 % de la capacidad de campo). A cada grupo de contenedores se le agregaron de forma controlada 10 semillas de la especie correspondiente. Las semillas agregadas fueron señaladas para facilitar el seguimiento y descartar semillas de las mismas especies que podrían germinar por estar presentes en el banco. Las semillas fueron colectadas en el mes de febrero de 2020, siguiendo los lineamientos sugeridos por Beider (2012) de las mismas áreas donde se extrajo la CBS y el suelo.

La CBS y el suelo para rellenar los contenedores fueron colectados de campos naturales del Monte del departamento de Adolfo Alsina, de la provincia de Río Ne-

gro, durante la primavera y el verano del año 2018. La CBS se colectó empleando un muestreador de 14 cm de diámetro y 10 cm de profundidad. Las muestras de CBS fueron colocadas en contenedores plásticos cilíndricos de 14 cm de diámetro y 14 cm de alto que contenían 1500 cm³ del suelo colectado.

La capacidad de campo del suelo (CC) se estimó por adición de agua a los contenedores hasta saturación y luego de 48 horas se registró el peso de cada uno. Para establecer la cantidad de agua necesaria para mantener el 75 %, 50 % y 25 % de capacidad de campo y simular condiciones de estrés hídrico suave, moderado y severo, respectivamente, un subconjunto de macetas se secó en estufa a 100 °C y el contenido de humedad se determinó por el método gravimétrico. De esta forma, a cada maceta se le asignó un peso fijo en función del contenido hídrico según el tratamiento asignado.

El ensayo se llevó a cabo durante los meses de septiembre y octubre de 2020, donde las temperaturas medias registradas variaron entre 25 °C y 30 °C. Los contenedores fueron revisados cada 48 hs a fin de mantener el contenido de agua y registrar la germinación. Se consideró emergida a la semilla cuyo coleoptile asomó sobre el suelo o CBS y el establecimiento se contabilizó con las plantas vivas luego de las ocho semanas del ensayo.

Se analizó la normalidad de los datos con el test de Shapiro-Wilks, presentando una distribución normal la emergencia y establecimiento de *P. caespitosum* pero no de *N. longiglumis*. Por este motivo se emplearon los modelos lineales generales y mixtos, que ofrecen un análisis más robusto ante la falta de normalidad de los datos. La presencia de CBS y el

porcentaje de capacidad de campo del suelo fueron considerados variables predictoras. Las medias fueron comparadas usando la prueba LSD de Fisher con un nivel de significancia estadística del 5%. Los datos fueron analizados con el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2014).

RESULTADOS

Las semillas de *N. longiglumis* y *P. caespitosum* empleadas en este ensayo presentaron un poder germinativo de 56,67% y 78,30%, respectivamente.

La emergencia de *N. longiglumis* presentó interacción entre los factores cobertura y contenido de agua ($n=18$, $df=2$, $F=123,9$, $p=0,0040$). La emergencia en contenedores con CBS varió entre 20% (para 25% CC) y 40% (para 75% CC), mientras que para los contenedores con SD la emergencia varió entre 3% (25% CC) y 65% (para 75% CC) (Figura 1).

La especie *P. caespitosum* no presentó interacción entre factores ($n=18$, $df=2$, $F=30,24$, $p=0,36$). Los valores medios de emergencia para las plántulas sobre

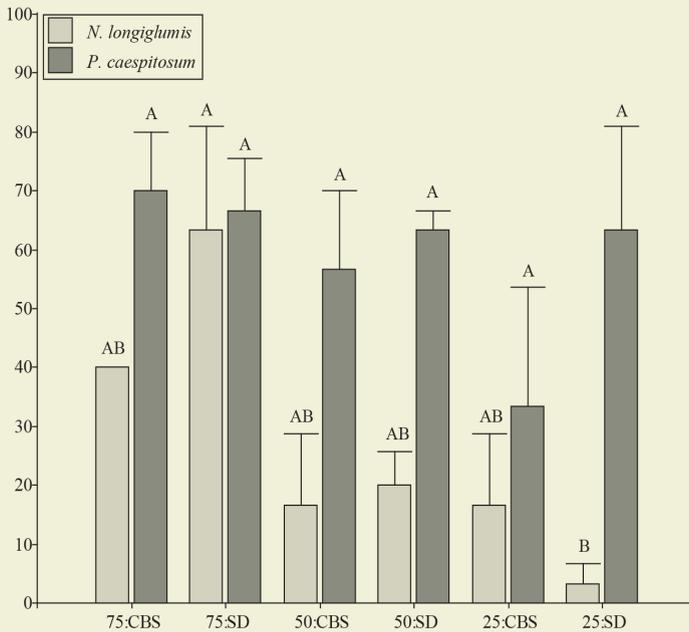


Figura 1. Emergencia (% de plántulas) de *Nassella longiglumis* y *Pappophorum caespitosum* en costras biológicas del suelo (CBS) y suelo desnudo (SD) con distintos niveles de humedad (75: 75% capacidad de campo; 50: 50% capacidad de campo; 25: 25% capacidad de campo). Medias con una letra común para una misma especie no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figure 1. Emergence (seedlings %) of *Nassella longiglumis* and *Pappophorum caespitosum* in biological soil crusts (BSC) and bare soil (BS) with different humidity levels (75: 75% field capacity; 50: 50% field capacity; 25: 25% field capacity). Means with a common letter for the same species are not significantly different ($p > 0.05$)

CBS de esta especie variaron entre 35 % y 70 %, mientras que en el tratamiento SD los valores variaron entre 64 % y 67 % (Figura 1).

El establecimiento de *N. longiglumis* mostró diferencias significativas en la interacción cobertura y contenido de agua ($n=18$, $df=2$, $F=114,7$, $p < 0,001$). Los valores variaron entre 0 % (para tratamiento SD y 25 % CC) y 47 % (para SD y 75 % CC) (Figura 2).

Por su parte, *P. caespitosum* no presentó interacción entre factores, observán-

dose los mayores valores (70 %) en CBS y 75 % CC, y los menores valores (20 %) en SD y 25 % CC (Figura 2).

DISCUSIÓN

La CBS puede tener efectos positivos, negativos o neutros sobre la emergencia y el establecimiento de plántulas. Los efectos positivos suelen estar vinculados a los porcentajes de retención de humedad más elevados y la mayor oferta de nutrientes para las plantas (Belnap &

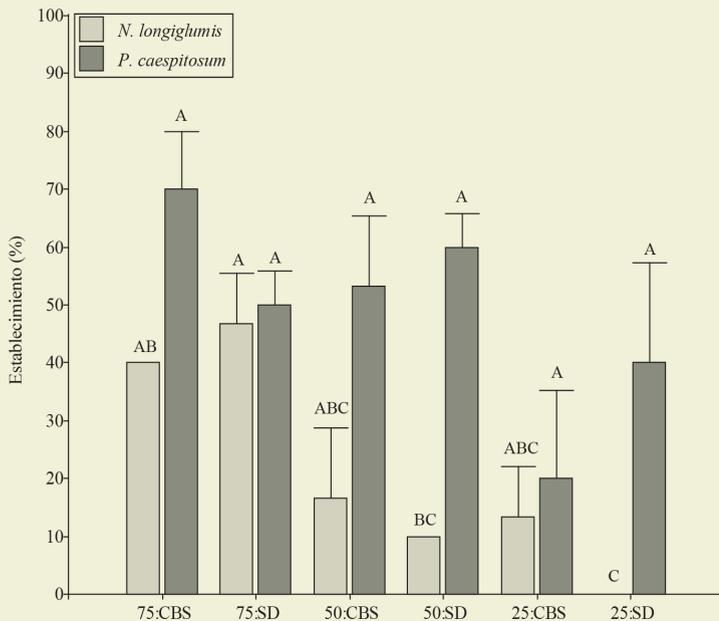


Figura 2. Establecimiento (% de plántulas) de *Nassella longiglumis* y *Pappophorum caespitosum* en costras biológicas del suelo (CBS) y suelo desnudo (SD) con distintos niveles de humedad (75: 75 % capacidad de campo; 50: 50 % capacidad de campo; 25: 25 % capacidad de campo). Medias con una letra común para la misma especie no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figure 2. Establishment (seedlings %) of *Nassella longiglumis* and *Pappophorum caespitosum* in biological soil crusts (BSC) and bare soil (BS) with different humidity levels (75: 75 % field capacity; 50: 50 % field capacity; 25: 25 % field capacity). Means with a common letter for the same species are not significantly different ($p > 0.05$)

Harper, 1995; Maestre et al., 2010; Escobar et al., 2012).

En términos generales, los resultados obtenidos en este trabajo permiten observar que las diferencias en emergencia y establecimiento de las gramíneas estudiadas fueron afectadas por el nivel de estrés hídrico al que se sometieron y no por la competencia asociada a la presencia o ausencia de CBS. Sin embargo, ambas especies tuvieron comportamientos diferentes. *Pappophorum caespitosum*, al ser una especie C_4 , hace un uso más eficiente del agua y es más tolerante a las altas temperaturas (Busso & Bonvissuto, 2009; Busso et al., 2010). Esta especie necesita ciclos de luz/oscuridad y temperaturas mayores a 20 °C para alcanzar una mejor performance en la germinación de sus semillas (Entio et al., 2016). Posiblemente, las elevadas temperaturas bajo las que se llevó a cabo este ensayo (las temperaturas registradas estuvieron entre los 25 °C y 30 °C) le permitieron a *P. caespitosum* alcanzar elevados porcentajes de emergencia y establecimiento. Aun en condiciones de baja humedad del suelo, esta especie presentó niveles de emergencia y establecimiento deseables para el uso en restauración y rehabilitación de ecosistemas degradados, más allá de la presencia de CBS como facilitador. Peter et al. (2013) y Villagra (2000) indican que *P. caespitosum* es una especie que se observa con mayor frecuencia en áreas degradadas por incendios y que poseen baja cobertura de especies leñosas de mayor porte que pudieran ofrecer sombra. Las características intrínsecas de *P. caespitosum* la hacen una especie factible de ser utilizada en ensayos de restauración en áreas con amplia variabilidad estacional de las precipitaciones y con un régimen de temperatura más

cálido. Por lo tanto, esta especie tiene un gran potencial para ser usada en suelos sin cobertura de CBS, como inicio de la sucesión vegetal.

La especie *N. longiglumis*, al ser una especie C_3 , presentó una mayor sensibilidad a la falta de humedad del suelo y a la demanda atmosférica causada por las condiciones ambientales en las cuales se desarrolló el ensayo. Contrariamente a lo planteado en la hipótesis, los porcentajes de emergencia y establecimiento bajo condiciones de déficit hídrico severo presentaron un mejor desempeño en presencia de CBS que bajo condiciones de suelo desnudo, evidenciando un efecto positivo de la CBS sobre la emergencia y el establecimiento. Langhans et al. (2009) indican que el establecimiento de especies perennes suele ser inhibido por la presencia de CBS, haciéndose esta inhibición más fuerte al tratarse de especies herbáceas. Los resultados aquí alcanzados hacen suponer que *N. longiglumis* es una especie sensible a la falta de agua en el momento de la germinación, pero también parece no estar afectada por la presencia de CBS bajo condiciones de estrés hídrico suave y moderado (75% y 50% de capacidad de campo) y beneficiada bajo condiciones de estrés hídrico severo (25% de capacidad de campo). Peter et al. (2016) observaron para otra especie del género *Nassella* (*N. tenuis*) un efecto positivo de la CBS y del mayor contenido de humedad del suelo sobre la emergencia, el establecimiento y el crecimiento de plántulas.

En ambientes áridos y semiáridos los factores ambientales, fundamentalmente la precipitación y los vientos, son una limitante de importancia para el establecimiento y desarrollo de los organismos vegetales, ya que ejercen un con-

trol substancial sobre la dinámica de la vegetación (Godagnone & Bran, 2009). Conocer los niveles de estrés hídrico que afectan la emergencia y el establecimiento de diferentes especies nativas del Monte es muy importante para identificar, en relación a la ocurrencia de las precipitaciones de un año en particular, las épocas más propicias para iniciar los trabajos de restauración. *Nassella longiglumis* es una especie que podría utilizarse para iniciar los ensayos de restauración ecológica. Sin embargo, consideramos que sería necesario el uso de CBS para facilitar la emergencia y el establecimiento de esta especie bajo condiciones de estrés hídrico severo y alcanzar niveles de supervivencia más altos.

La CBS es un componente clave de los ecosistemas áridos y semiáridos ya que afecta los procesos ecosistémicos y la composición de la comunidad vegetal. Al modificar las propiedades del suelo superficial, la CBS puede afectar la germinación de las semillas y el establecimiento de las plántulas. Sin embargo, la complejidad de los procesos involucrados impide generalizaciones sobre las interacciones entre CBS y las especies herbáceas y leñosas. Esta complejidad es, en parte, el resultado de la heterogeneidad en la cobertura vegetal y la composición de la CBS (Mendoza-Aguilar et al., 2014).

CONCLUSIONES

Es necesario conocer las relaciones ecológicas existentes entre distintos grupos funcionales para utilizarlos eficientemente en proyectos de restauración y rehabilitación ecológica, y recomponer la funcionalidad ecosistémica perdida a causa de la degradación.

Los resultados aquí obtenidos son exploratorios y, si bien no permiten afirmar que la CBS tiene un efecto positivo o negativo sobre el establecimiento de plántulas de estas especies, nos permite conocer el comportamiento esperado bajo diferentes condiciones hídricas del suelo. Consideramos necesario continuar con la exploración de las relaciones entre estos grupos de organismos en escenarios de estrés abiótico para conocer los umbrales ambientales que determinan relaciones de facilitación o competencia en ambientes áridos y semiáridos de la Patagonia.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Río Negro (PI 40-C-654) y por CONICET (PIP 11220150100196CO). JMZ y GP son miembros de CONICET. Agradecemos a los revisores anónimos por sus sugerencias y comentarios que permitieron mejorar el manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- ANTONIKA, A., A. FAIST, E. RODRIGUEZ-CABALLERO, K. YOUNG, B. CHAUDHARY, L. CONDON & D. PYKE, 2014. Biological soil crust in restoration: emerging research and perspectives. *Restoration Ecology* 28(2): 22-28.
- BASKIN, C.C. & J.M. BASKIN, 1998. *Seeds, Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. San Diego: Academic Press, 666 pp.
- BEIDER, A., 2012. *Viverización de especies nativas de zonas áridas*. Ed. Experimentia. Buenos Aires, 70 pp.
- BELNAP, J., 1994. Potential role of cryptobiotic soil crusts in semiarid rangelands. En: Monsen, S.B. & S.G. Kitchen (Eds.). *Proceedings Ecology and Management of Arid Rangelands*. General Technical

- Report INT-GTR. Pp. 179-185. Ogden, Utah: USDA Forest Service
- BELNAP, J., 2003. Biological soil crusts in deserts: a short review of their role in soil fertility, stabilization, and water relations. *Algological Studies* 109(1): 113-126.
- BELNAP, J., 2006. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes* 20(15): 3159-3178.
- BELNAP, J. & J.S. GARDNER, 1993. Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Great Basin Naturalist* 53(1): 40-47.
- BELNAP, J. & K.T. HARPER, 1995. Influence of cryptobiotic soil crusts on elemental content of tissue of two desert seed plants. *Arid Land Research and Management* 9(2): 107-115.
- BELNAP, J., R. PRASSE & K.T. HARPER, 2001. Influence of biological soil crusts on soil environments and vascular plants. En: Belnap, J. & O.L. Lange (Eds.). *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Pp. 281-299. Berlin: Springer-Verlag
- BOWKER, M.A., 2007. Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: An underexploited opportunity. *Restoration Ecology* 15(1): 13-23.
- BUSSO, C.A., G.L. BONVISSUTO & Y.A. TORRES, 2010. Seedling recruitment and survival of two desert grasses in the monte of Argentina. *Land Degradation and Development* 23(2): 116-129.
- BUSSO, C. & G.L. BONVISSUTO, 2009. Structure of vegetation patches in north-western Patagonia, Argentina. *Biodiversity and Conservation* 18: 3017-3041.
- CALABRESE, G.M., A.E. ROVERE & J.M. ZEBERIO, 2013. Costras biológicas en sitios de monte con diferentes niveles de perturbación. En: Pérez, D.R., A.E. Rovere & M.E. Rodríguez Araujo (Eds.). *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina*. I. Vázquez Mazzini Ed.
- CORTINA, J., N. MARTIN, F.T. MAESTRE & S. BAUTISTA, 2010. Disturbance of the biological soil crusts and performance of *Stipa tenacissima* in a semi-arid Mediterranean steppe. *Plant and Soil* 334(2): 311-322.
- DI RIENZO, J., F. CASANOVES, M. BALZARINI, M., GONZALEZ, L. TABLADA & C. ROBLEDO, 2014. InfoStat. Versión 2014. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- ENTIO, L., M.M. MUJICA, C. BUSSO, Y.A. TORRES & L.S. ITHURRART, 2016. Light effects on seed germination of two spontaneous populations of *Pappophorum vaginatum*. *Semiárida* 2: 11-20.
- ESCOLAR, C., I. MARTÍNEZ, M.A. BOWKER & F.T. MAESTRE, 2012. Warming reduces the growth and diversity of biological soil crusts in a semi-arid environment: Implications for ecosystem structure and functioning. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* 1606: 3087-3099.
- FICK, S.E., C. DECKER, M. DUNIWAY & M. MILLER, 2016. Small-scale barriers mitigate desertification processes and enhance plant recruitment in a degraded semiarid grassland. *Ecosphere* 7(6): 1-16.
- FUNK, F.A., A. LOYDI & G. PETER, 2014. Effects of biological soil crusts and drought on emergence and survival of a Patagonian perennial grass in the Monte of Argentina. *Journal of Arid Land* 6(6): 735-741.
- GODAGNONE, R.E. & D.E. BRAN, 2009. Inventario integral de los recursos naturales de la provincia de Río Negro. INTA. Ediciones INTA, 392 pp.
- GODINEZ ALVAREZ, H., C. MORIN & V. RIVERA AGUILAR, 2012. Germination, survival and growth of three vascular plants on biological soil crusts from a Mexican tropical desert. *Plant Biology* 14: 157-162.
- GOLLUSCIO, R., V.A. DEREGIBUS & J.M. PARUELO, 1998. Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecología Austral* 8(1): 265-284.

- GÓMEZ, D., J.N. ARANIBAR, S. TABENI, P.E. VILLAGRA, I.E. GARIBOTTI & A. ATENCIO, 2012. Biological soil crust recovery after long-term grazing exclusion in the Monte Desert (Argentina). Changes in coverage, spatial distribution, and soil nitrogen. *Acta Oecologica* 38: 33-40.
- HAVRILLA, C.A., S.M. MUNSON, M. MCCORMICK, K.M. LAUSHMAN, K. BALAZS & B.J. BUTTERFIELD, 2020. RestoreNet: An emerging restoration network reveals controls on seeding success across dryland ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 231(1): 3-6.
- HAWKES, C., 2003. Effects of biological soil crusts on seed germination of four endangered herbs in a xeric Florida shrubland during drought. *Plant Ecology* 170(1): 121-134.
- JOHANSEN, J.R., 1993. Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America. *Journal of Phycology* 29: 140-147.
- KRÖPFL, A.I., V. DEREGIBUS & G. CECCHI, 2007. Disturbios en una estepa arbustiva del Monte: cambios en la vegetación. *Ecología Austral* 17(2): 257-268.
- LANGHANS, T.M., C. STORM & A. SCHWABE, 2009. Biological soil crusts and their microenvironment: Impact on emergence, survival and establishment of seedlings. *Flora* 204(2): 157-168.
- LEÓN, R.J.C., D.E. BRAN, M. COLLANTES, J.M. PARUELO & A. SORIANO, 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extraandina. *Ecología Austral* 8(1): 125-144.
- MAESTRE, F.T., M.A. BOWKER, C. ESCOLAR, M.D. PUCHE, S. SOLIVERES, S. MALTEZ-MOURO, P. GARCÍA-PALACIOS, A., CASTILLO-MONROY, I. MARTÍNEZ & A. ESCUDERO, 2010. Do biotic interactions modulate ecosystem functioning along stress gradients? Insights from semi-arid plant and biological soil crust communities. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* 365: 2017-2070.
- MAESTRE, F.T., C. ESCOLAR, I. MARTÍNEZ & A. ESCUDERO, 2008. Are soil lichen communities structured by biotic interactions? A null model analysis. *Journal of Vegetation Science* 19(3): 261-266.
- MAESTRE, F.T. & J. CORTINA, 2005. Do positive interactions increase with abiotic stress? A test from a semi-arid steppe. *Biology* 2(5): 331-333.
- MENDOZA-AGUILAR, D., J. CORTINA & M. PANDO-MORENO, 2014. Biological soil crust influence on germination and rooting of two key species in a *Stipa tenacissima* steppe. *Plant and Soil* 375: 267-274.
- MORELLO, J., S.D. MATEUCCI, A.F. RODRIGUEZ, & M.E. SILVA, 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. 1° ed. Orientación Gráfica editora. Buenos Aires, 603 pp.
- NAVAS ROMERO, A., 2019. Funciones ecosistémicas y atributos ecológicos de las costras biológicas en el centro-oeste de la Argentina. Tesis Doctoral, PROBIOL, Universidad Nacional de Cuyo.
- PETER, G., F.A. FUNK & S.S. TORRES ROBLES, 2013. Responses of vegetation to different land-use histories involving grazing and fire in the North-east Patagonian Monte, Argentina. *The Rangeland Journal* 35(3): 273-283.
- PETER, G., C.V. LEDER & F.A. FUNK, 2016. Effects of biological soil crusts and water availability on seedlings of three perennial Patagonian species. *Journal of Arid Environments* 125: 122-126.
- TORRES ROBLES, S.S., M.F. ARTURI, C. CONTRERAS, G. PETER & J.M. ZEBERIO, 2015. Variaciones geográficas de la estructura y composición de la vegetación leñosa en el límite entre el Espinal y el Monte en el noreste de la Patagonia. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 50(2): 209-215.
- VERRECCHIA, E., A. YAIR & G.J. KIDRON, 1995. Physical properties of the psammophile cryptogamic crust and their con-

- sequences to the water regime of sandy soils, northwestern Negev Desert, Israel. *Journal of Arid Environments* 29(4): 427-437
- VILLAGRA, P.E., 2000. Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. *Multequina* 9(2): 35-51.
- ZEBERIO, J.M., S.S. TORRES ROBLES & G.M. CALABRESE, 2018. Uso del suelo y estado de conservación de la vegetación del Monte en el noreste patagónico. *Ecología Austral* 28(4): 543-552.
- ZEBERIO, J.M. & C.A. PÉREZ, 2020. Rehabilitation of degraded areas in northeastern Patagonia, Argentina: Effects of environmental conditions and plant functional traits on performance of native woody species. *Journal of Arid Land* 3(1): 186-199.

Recibido: 11/2020
Aceptado: 02/2021