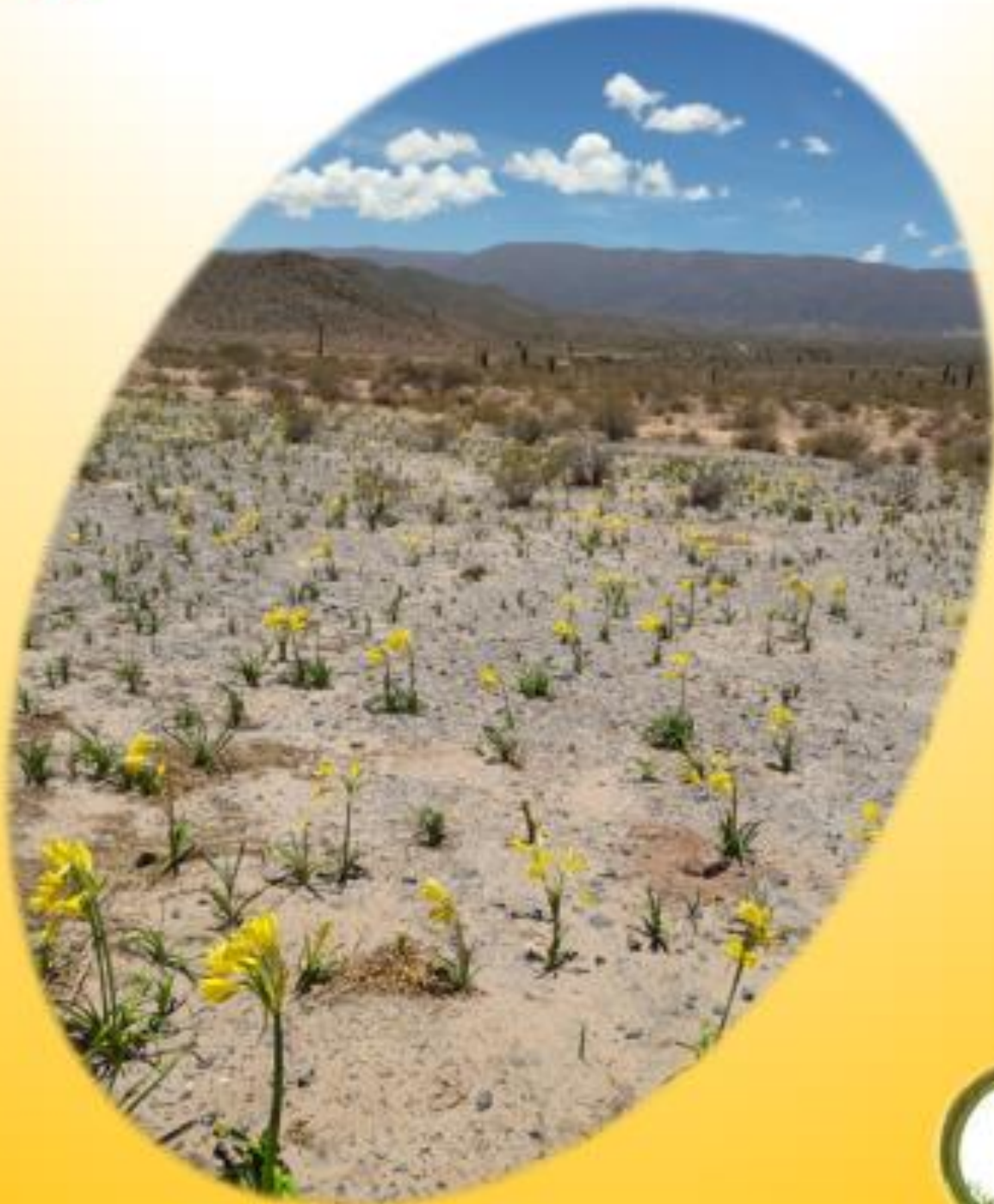




RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA DIAGONAL ÁRIDA DE LA ARGENTINA



4

Adriana Elizabeth Ortín Vujovich – Nélida Marcela Romero – Juan Carlos Godoy – Nora Di Salvo

Editores

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA DIAGONAL ÁRIDA DE LA ARGENTINA



Editores:

Adriana Elizabeth Ortín Vujovich

Nélida Marcela Romero

Juan Carlos Godoy

Nora Di Salvo

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA DIAGONAL ÁRIDA DE LA ARGENTINA

1° Edición – Salta 2020

Editores:

Adriana Elizabeth Ortín Vujovich - Nélide Marcela Romero - Juan Carlos Godoy - Nora Di Salvo

Diagramación:

Nélide Marcela Romero

Diseño de tapa y contratapa:

Nora Di Salvo

Diseño de portada de secciones y fotografía contratapa:

Juan Carlos Godoy

Fotografía de tapa:

Adriana Elizabeth Ortín Vujovich

Trabajos voluntarios correspondientes al IV Taller Regional sobre Rehabilitación y Restauración en la Diagonal Árida de la Argentina y I Taller Internacional de Restauración Ecológica – Salta, Argentina, 2018.

Restauración ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina / Adriana Elizabeth Ortín Vujovich... [et al.]; editado por Adriana Elizabeth Ortín Vujovich... [et al.]- 1ª ed.- Salta: Adriana Elizabeth Ortín Vujovich, 2020.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-86-7901-3

1. Restauración. 2. Ecología. 3. Zonas Áridas. I. Ortín Vujovich, Adriana Elizabeth.
CDD 577.0982



REVISORES INVITADOS

Dr. Publio A. ARAUJO

Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Dra. Ana Belén CISNEROS

Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC).

Dr. Antonio Daniel DALMASSO

Profesional Principal CONICET- Grupo de Geobotánica y Fitogeografía. IADIZA.

Dr. José Antonio DÍAZ ZÍRPOLO

Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNSE.

Arq. Nora DI SALVO

Restauradora Ecológica de la Escuela Cubana. CITMA.

Dra. Ana Cecilia DUFILHO

Universidad Nacional del Comahue.

Dr. Héctor Daniel ESTELRICH

Prof. Asociado Ecología Vegetal. Facultad de Agronomía. UNLPam.

Dra. Mariela FABBRONI

Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.

Dra. María Eugenia FIGUEROA

Universidad Nacional de Santiago del Estero.

MSc. Juan Carlos GODOY

Universidad Nacional de Salta. Sede Regional Orán.

Dra. Sofía Laura GONZÁLEZ

INIBIOM. Universidad Nacional del Comahue.

Dra. Soledad MOLARES

CIEMEP (Centro de Investigación Esquel de Montaña y Estepa Patagónica). CONICET
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Dra. Paula MELI

Universidad de La Frontera; Chile.

Dra. Juana MOGLIA
Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Dr. Ernesto Francisco Atilio MORICI
Facultad de Agronomía y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.

MSc. Adriana E. ORTÍN VUJOVICH
Universidad Nacional de Salta.

Mag. Vivien PENTREATH
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Mag. Héctor Alejandro REGIDOR
Universidad Nacional de Salta.

Dra. Adriana E. ROVERE
INIBIOMA (CONICET, Universidad Nacional del Comahue). Universidad Nacional de Río Negro.

Dr. Martín Gonzalo SIROMBRA
Facultad de Ciencias Naturales e Inst. Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán.
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Catamarca.

Dr. Ramón Alberto SOSA
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.

Dra. Carla Etel SUÁREZ
Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa.

Un especial agradecimiento a la Dra. Adriana Rovere, quien desinteresadamente, además de haber participado como revisora y autora, brindó generosamente su apoyo y colaboración poniendo a disposición su vasta experiencia para lograr la publicación de este libro y aportar así a la restauración de nuestros valiosos ecosistemas nativos.



ÍNDICE

| | |
|---|------------|
| SECCIÓN I. INTRODUCCIÓN | |
| Capítulo 1. Presentación y desarrollo del IV Taller Regional de Rehabilitación y Restauración en la Diagonal Árida de Argentina y I Taller Internacional de Restauración Ecológica Rovere, A.E.; Ortín Vujovich, A.E.; Di Salvo, N.A. y Godoy, J.C. | 12 |
| Capítulo 2. Salidas post taller: cuatro estudios de caso de restauración o rehabilitación en los alrededores de Salta (Argentina) Godoy, J.C.; Di Salvo, N.A.; Ortín Vujovich, A.E.; Croce, J.; Quintero, D.I.; Marconi, P.; Berrios, V.S. y Abdo, M. | 17 |
| Capítulo 3. Desarrollo y actividades de restauración ecológica en el nodo NOA (Argentina) Di Salvo, N.A.; Ortín Vujovich, A.E.; Casimiro, S.A.; Ferreira Padilla, S.E.; Godoy, J.C.; Marconi, P. y Rovere, A.E. | 27 |
| SECCIÓN II. INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA PARA LA RESTAURACIÓN | |
| Capítulo 4. Restauración de bosques incendiados en las Yungas de Jujuy, con énfasis en la recuperación del potencial productivo Balducci, E.D. y Speranza, F.C. | 36 |
| Capítulo 5. Restauración de antiguas chacras degradadas para producción silvopastoril Giordano, M.A.; Galeano, V.H. y Carrocino, E.B. | 44 |
| Capítulo 6. El efecto de borde en fragmentos de bosque en el Chaco Semiárido de Salta, Argentina Godoy, J.C.; Ortín Vujovich, A.E. y Yucra, B. | 53 |
| Capítulo 7. Hacia la identificación de un ecosistema de referencia para la Selva Pedemontana de Yungas Ortín Vujovich, A.E.; Godoy, J.C.; Tolaba, J.; Galarza, M.; Llanos, E.; Guerra, M.; Alcaraz, R.; Caballero, M. y Rodríguez Solano, E.A. | 62 |
| Capítulo 8. Explotación de palmares en el noroeste formoseño. Estrategias para un proceso de restauración Regidor, H.A. y Miller, M. | 73 |
| Capítulo 9. Cambios de la composición florística en la Selva Pedemontana de la cuenca del río Tartagal, Salta (1977-2018): importancia de su restauración Tinte, A.L.; Ortín Vujovich, A.E. y Ferreira Padilla, S.E. | 82 |
| SECCIÓN III. INVESTIGACIÓN EN HUMEDALES Y ÁREAS DE RIBERA | |
| Capítulo 10. Composición, riqueza, abundancia y diversidad específica de la vegetación riparia de un tramo del río Lorohuasi (Cafayate – Salta - Argentina) Alvarado, A.S.; Ferreira Padilla, S.E. y Fabbroni, M. | 91 |
| Capítulo 11. Caracterización de la vegetación del sector sur del salar de Cauchari, Provincia de Salta, Argentina Fiad, D.; Ortega, L.M.; Cardozo, A.L.; Jerez, M. y Pereyra, P. | 98 |
| Capítulo 12. Valoración de riberas fluviales en un tramo del río Lorohuasi, Cafayate (Salta, Argentina) Quintero, D.I.; Ferreira Padilla, S.E.; Rovere, A.E. y López de Azarevich, V. | 107 |
| SECCIÓN IV. INVESTIGACIÓN EN LA ACTIVIDAD HIDROCARBURÍFERA Y MINERA | |
| Capítulo 13. Ensayo experimental para la restauración de colas de mineral en la explotación del oro, San Juan, Argentina Dalmaso, A.D. y Márquez, J. | 116 |

| | |
|---|------------|
| Capítulo 14. Evaluación de técnicas de restauración en locación petrolera Cerro Veneno, Malargüe, Argentina Navas Romero, A.; Herrera Moratta, M.A.; Duplancic, M.A.; Martínez Carretero, E. y Dalmaso, A.D. | 128 |
| Capítulo 15. Ensayos de ecotoxicidad y genotoxicidad para evaluar lodos de perforación derivados de la industria petrolera Pentreath, V.; González, E.; Laztra, E.; Chiarotto, M.; Mutti, C. y Herrera, A. | 141 |
| SECCIÓN V. BIODIVERSIDAD DE MAMÍFEROS, AVES Y PECES | |
| Capítulo 16. Principales bienes y servicios que brindaría la ictiofauna del río Atuel (La Pampa, Argentina) en un marco de restauración ambiental Del Ponti, O.D.; Pratts, P.B.; Berguño, A.A.; Marani, J.L. y Castro, M. | 151 |
| Capítulo 17. Evaluación temporal de la diversidad de aves en un paisaje fragmentado del Chaco Salteño Godoy, J.C. y Ortín Vujovich, A.E. | 159 |
| Capítulo 18. Comparación temporal y espacial de la ictiofauna en dos sitios urbanizados del río Arias (Salta) Romero, N.M.; Araoz, A.A.; Arambarri Salvadores, J.P.; Lamas, M.L. y Ceballos, S.F. | 167 |
| Capítulo 19. Diagnóstico de la diversidad de vertebrados de la Diagonal Árida Pampeana Sosa, R.A.; Del Ponti, O.D.; Bragagnolo, L.A. y Galmes, M.A. | 174 |
| SECCIÓN VI. PROPAGACIÓN DE PLANTAS E IDENTIFICACIÓN DE PLÁNTULAS | |
| Capítulo 20. Caracteres morfométricos de frutos y semillas del monte y germinación de <i>Parasenegalia visco</i> para rehabilitación de laderas y riberas Ferreira Padilla, S.E.; Subelza, C.R. y Pérez Arroyo, R.N. | 184 |
| Capítulo 21. Viverización de dos especies del género <i>Baccharis</i> con potencial uso en la rehabilitación de ambientes degradados Leyes, P.; Edwards, I.; Sánchez, G. y Riat, M. | 191 |
| Capítulo 22. Caracterización de plántulas de especies leñosas de la Selva Pedemontana de Yungas Ortín Vujovich, A.E.; Yapura, M.; Godoy, J.C.; Paniagua, M.; Tinte, A.L.; Alderete, L.; Borja, M. y Espinosa, P. | 198 |
| Capítulo 23. Avances en la propagación de <i>Viola columnaris</i> (Violaceae), especie herbácea de altura afectada por actividades recreativas de montaña Rey, M.; Riat, M. y Sánchez, G. | 207 |
| Capítulo 24. Metodología de propagación y cultivo de <i>Adesmia corymbosa</i> var. <i>corymbosa</i> (Fabaceae) para su recuperación en sitios alterados de Patagonia Rodríguez, N.; Riat, M. y Sánchez, G. | 215 |
| SECCIÓN VII. RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN EN ÁREAS PERIURBANAS | |
| Capítulo 25. Bancos de semillas en taludes viales de la Estepa Patagónica: implicancias para la restauración Chichizola, G.A.; González, S.L. y Rovere, A.E. | 223 |
| Capítulo 26. Restauración de bordes de caminos: revisión de publicaciones, estado de artes y desafíos Chichizola, G.A. y Rovere, A.E. | 230 |
| Capítulo 27. Propuesta de restauración ecológica en el área de influencia de Planta Depuradora Norte, ciudad de Salta Moya, A.L. y Pasculli, M.N. | 238 |
| Capítulo 28. Xerojardinería en la estepa: capital natural en espacios verdes urbanos de San Carlos de Bariloche (Patagonia) Rovere, A.E. y Martínez, P. | 245 |

| | |
|---|------------|
| Capítulo 29. Análisis de la invasión de <i>Melia azedarach</i> en la reserva municipal Laguna El Saladillo, Orán, Salta Ruiz, M.A. | 254 |
| Capítulo 30. Especies nativas potenciales para la remediación del ex vertedero de San Carlos de Bariloche (Argentina) Zenz, E.; Rovere, A.E. y Riat, M. | 262 |
| SECCIÓN VIII: DESARROLLO TECNOLÓGICO E INDICADORES | |
| Capítulo 31. Atributos de las costras biológicas para su uso en la restauración de ecosistemas Navas Romero, A.L.; Martínez Carretero, E. y Herrera Moratta M.A. | 270 |
| Capítulo 32. Propuesta de indicadores para el seguimiento de la restauración del río Mojotoro en el área afectada por planta de tratamiento de efluentes cloacales, Ciudad de Salta Pasculli, M.N. y Moya, A.L. | 284 |
| Capítulo 33. Especies de gramíneas como indicadoras de procesos de restauración o degradación en pastizales naturales patagónicos Quezada, M.; Rueter, B.; Buzzi, M.A.; González, T. y Rodríguez, F.J. | 291 |
| Capítulo 34. Ensayos en microparcels con simulador de lluvias para estimar erosión hídrica en Salta, Capital Ramírez, L.P. y Ferreira Padilla, S.E. | 300 |
| Capítulo 35. Validación de una metodología basada en indicadores BACIPS para medir la restauración ecológica en los yacimientos hidrocarbúricos de Patagonia Rueter, B.L.; Rodríguez, F.J.; González, T. y Quezada, M.L. | 306 |
| Capítulo 36. Tendencias de los estados de degradación de los pastizales áridos y semiáridos de Chubut Sorondo, M.; Behr, S.; Massara Paletto, V.; Clich, I.; Beider, A.; Bueno, G.; Caruso, C.; García Martínez, G. y Opazo, W. | 313 |
| SECCIÓN IX. ASPECTOS SOCIO-CULTURALES Y PRODUCTIVOS | |
| Capítulo 37. Educación ambiental: herramienta eficaz para el manejo de áreas ocupadas por <i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn (Mimosaceae), en Cuba Ballate Denis, D. | 321 |
| Capítulo 38. Hacia una integración: sociología ambiental y restauración Di Salvo, N.A. | 325 |
| Capítulo 39. Propuesta de restauración ecológica productiva socio-ambiental con especie nativa "tomate árbol" (<i>Solanum betaceum</i>) Di Salvo, N.A. | 331 |
| Capítulo 40. Percepción ambiental de la comunidad de Orán sobre la reserva Laguna El Saladillo e importancia para su restauración Gutiérrez, J.; Barrientos, I.; García, F.; Luna, V.; Ortín Vujovich, A.E. y Rosa, M.V. | 336 |
| Capítulo 41. Experiencia de restauración ecológica con participación de adultos mayores Lagos, L.J.; Pérez, D.R.; Farias O.; Gauna M.F.; Sánchez, C. y Fensel, M. | 346 |
| Capítulo 42. Actividades de divulgación y concientización para promover el manejo y la restauración de un ambiente degradado de la ciudad de Orán, Salta Nicolópulos, M.C.; Ruiz M.A.; Batallanos, R.; Arjona, L.; Gareca, E.; Ávila, M.; Barrientos, I.; Gutiérrez, J. y Ponce, E. | 356 |

Capítulo 43. Gobernanza de la restauración ecológica a distintas escalas: global, regional, sub-nacional **365**

Zuleta, G.A.; Hamerlynck, O.; Liu, J.; Morales, N.; Dorado, A.; Rovere, A.E.; Espinoza-Mendoza, V.; Rescia, A.J.; Guida-Johnson, B. y Fernández Cuppari, M.

SECCIÓN X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo 44. Conclusiones y recomendaciones del IV Taller Regional de Rehabilitación y Restauración en la Diagonal Árida de Argentina y I Taller Internacional de Restauración Ecológica **381**

Ortín Vujovich, A.E.; Godoy, J.C.; Di Salvo, N.A.; Rovere, A.E.; Romero, N.M.; Giordano, M.A.; Galeano, V.H.; Carrocino, E.B. y Sirombra, M.



CAPÍTULO 31

ATRIBUTOS DE LAS COSTRAS BIOLÓGICAS PARA SU USO EN LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

Attributes of biological crusts for use in ecosystem restoration

Navas Romero, A.L.^(1, 2); Martínez Carretero, E.⁽²⁾ y Herrera Moratta M.A.^(2,3)

¹Instituto de Ingeniería Química - Facultad de Ingeniería (UNSJ) - Grupo Vinculado al PROBIEN (CONICET-UNCo), San Juan, Argentina.

²Instituto Argentino de Investigaciones en Zonas Áridas. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Mendoza, Argentina.

³Instituto de Biotecnología-Facultad de Ingeniería (UNSJ).

anauranavas@gmail.com

Resumen

En Argentina, cada vez más actividades humanas resultan en un deterioro significativo de la superficie del suelo. Las costras biológicas del suelo (CBS) proporcionan servicios ecosistémicos significativos a las tierras áridas. Con la intención de conocer atributos de las CBS que permitan evaluar su rol en la restauración, se determinó la estabilidad, compactación, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, temperatura y radiación en suelos cubiertos por costras biológicas. El área de estudio se localizó en el departamento Las Heras, Mendoza. Se construyeron al azar 30 bloques de 2 m² en la zona de interparche. Cada bloque estuvo conformado por dos zonas, una con costra biológica (CCBS) y otra sin costras biológicas (SCBS), separadas 50 cm. En cada bloque se midió la estabilidad del suelo (test de Herrick), la compactación (penetrómetro dual), la retención de humedad (saturación y pesada), el

contenido de materia orgánica (calcinación), nitrógeno (Kjedahl), fósforo (fotometría de llama), temperatura (termómetro digital) y la radiación (radiómetro de punto). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,001$) en la compactación, estabilidad, contenido de materia orgánica, nitrógeno, temperatura y humedad entre zonas CCBS y zonas SCBS. La estabilidad, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y la retención de humedad resultaron ser superiores en zonas CCBS, no así la radiación, temperatura y compactación que mostraron una disminución. Las costras biológicas evidencian resistir niveles elevados de radiación, mejorar la fertilidad y las propiedades físicas del suelo y actuar como amortiguadores térmicos, convirtiéndose en una alternativa aconsejable para el inicio de la recuperación de ecosistemas degradados.

Palabras clave: árida – compactación - servicios ecosistémicos.

Abstract

In Argentina, more and more human activities result in a significant deterioration of the soil surface. Biological soil crusts provide significant ecosystem services to drylands. With the intention of knowing attributes of the BSC that allow evaluating their role in restoration, the stability, and compaction, content of organic matter, nitrogen, phosphorus, temperature and radiation in soils covered by biological crusts were determined. The study area was located in the Las Heras department, Mendoza. 30 blocks of 2 m² were randomly built in the interpatch area. Each block consisted of two zones, one with a biological crust (WBSC) and the other without biological crusts (SBSC), separated by 50 cm. Soil stability (Herrick's test), compaction (dual penetrometer), moisture retention (saturation and heavy), organic matter content (calcination), nitrogen (Kjedahl), phosphorus (photometry of flame), temperature (digital thermometer) and radiation (spot radiometer). Significant differences ($p < 0.001$) in compaction, stability, organic matter content, nitrogen, temperature and humidity were found between WBSC zones and SBSC zones. Stability, organic matter, nitrogen, phosphorus and moisture retention were found to be superior in WBSC areas, but not the radiation, temperature and compaction that showed a decrease. Biological soil crusts show resistance to high levels of radiation, improve fertility and the physical properties of the soil, and act as thermal buffers, making it an

advisable alternative to start the recovery of degraded ecosystems.

Keywords: arid – compaction - ecosystem services.

Introducción

Cada vez más actividades humanas resultan en un deterioro significativo de la superficie del suelo. Entre las actividades que más impactan a nivel ecosistémico se encuentran la ganadería, la extracción de petróleo, el desmote, la generación de senderos por actividades todoterrenos, entre otros (del Valle *et al.*, 1998; Fiori y Zalba, 2003; Herrera Moratta *et al.*, 2018; Navas Romero *et al.*, 2019). La magnitud del deterioro de los suelos ha llevado a que, a escala mundial, exista un interés creciente por la recuperación del daño provocado en los ecosistemas (Rovere y Calabrese, 2011).

La restauración de hábitats y ecosistemas degradados constituye un componente de creciente importancia en la conservación biológica. La mayor parte de los estudios referidos a la restauración se han centrado en áreas agrícolas abandonadas (Rosenthal, 2003; Abensperg-Traun *et al.*, 2004; Kinloch y Friedel, 2005). En los últimos veinte años, en Argentina, se han realizado estudios de recuperación de plataformas petroleras. Dalmaso y Martínez Carretero (2013), Farinaccio *et al.* (2013), Kogbara *et al.* (2017), Fatima *et al.* (2018 a y b), entre otros, han efectuado numerosos aportes a la restauración utilizando técnicas de fitorremediación y/o de revegetación. Si bien muchas de estas técnicas han sido efectivas, las mismas involucran personal

calificado, elevados costos (de material y transporte) y excesiva mano de obra para su instalación y producción, dificultando su aplicación a gran escala.

En la Argentina los piedemonte en las zonas áridas cubren extensos kilómetros y resultan claves para el mantenimiento de funciones ecológicas importantes como la regulación de gases de la atmósfera, el mantenimiento del ciclo del agua, el control de la erosión, la polinización y la producción de alimentos (Martínez Carretero, 2010). A pesar de su importancia las áreas pedemontanas son uno de los ambientes con menor nivel de protección y con escasos relictos en buen estado de conservación

La mayoría de los trabajos de restauración se llevan a cabo empleando plantas vasculares, siendo limitados los trabajos que abordan la biodiversidad - hongos, líquenes, hepáticas, musgos, microorganismos - como un atributo de los ecosistemas a recuperar (Barrett *et al.*, 2009; Wrigley de Basanta *et al.*, 2010; Rovere y Calabrese, 2011). Frente a esto, las costras biológicas (CBS), definidas como asociaciones formadas por la íntima agregación entre partículas de suelo, musgos, líquenes, hongos, cianobacterias y algas, se convierten en una alternativa plausible (Belnap y Lange, 2003) en tareas de restauración. Las CBS son componentes estructurales y funcionales críticos del ecosistema (Bowker, 2007). Su rol como colonizadores primarios los transforma en organismos apropiados para la restauración de un ecosistema (Belnap y Lange, 2003; Bowker, 2007; Zha *et al.*, 2017).

En Israel, España y China, entre otros países, se han llevado a cabo estudios relacionados con el cultivo artificial de costras biológicas con fines de restauración (Xu *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2015; Williams *et al.*, 2015). Sin embargo, la mayoría de ellos se han concentrado en incrementar su abundancia, más que en evaluar su potencial y resistencia a condiciones reales y adversas, limitando su aplicación en el terreno.

En este estudio, nuestro objetivo fue dilucidar las potencialidades de las CBS para su uso en la restauración de ecosistemas pedemontanos degradados. Los objetivos específicos fueron: 1) evaluar la influencia de las CBS en los niveles de estabilidad, compactación, materia orgánica, nitrógeno y fósforo en un sistema árido y de gran extensión e importancia y 2) relacionar los atributos obtenidos con su potencial para restauración. El estudio se realizó en un área dentro de la Diagonal Árida de Argentina, donde el conocimiento sobre los CBS es muy limitado.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio. La zona de estudio se ubicó en el departamento Las Heras, distrito de Capdevile, (Mendoza) (32°43'24,3"S - 68°50'29,69"O), a 741 m s.n.m., en el piedemonte de la precordillera. La precipitación anual media es de 220 mm. El 38% de la precipitación ocurre en verano (diciembre-febrero) y el 16% en invierno (junio-agosto). La temperatura media anual es de 17,5°C, la temperatura media máxima es de 30°C y la media mínima de 3°C (Norte y Simonelli,

2010). El suelo pertenece al orden entisoles en la categoría torrifluventes típicos (Regairaz, 2000). Fitogeográficamente la vegetación pertenece a la provincia fitogeográfica del Monte. En toda el área domina un jarillal de *Larrea cuneifolia* entre los 750-1200 m s.n.m. (Roig, 1976; Martínez Carretero y Dalmasso, 1992).

Diseño del muestreo. Durante la estación húmeda (diciembre-marzo) del año 2016 se distribuyeron al azar 30 bloques de 2 m² c/u en la zona de interparche. Cada bloque estuvo conformado por dos zonas, una con costra biológica en superficie (CCBS) y otra sin costras biológicas (SCBS), separadas una distancia aproximada de 50 cm. En cada bloque se midió la estabilidad del suelo, la compactación, el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, la temperatura y la radiación.

Estabilidad: Para la evaluación de la estabilidad del suelo, en cada zona (CCBS y SCBS) perteneciente al bloque se recolectaron aleatoriamente 16 submuestras de suelo de 6-8 mm de diámetro y se midió la estabilidad en cada una empleando la técnica de Herrick. Las muestras se extrajeron luego de la eliminación de la CBS. Las muestras SCBS se recolectaron de igual manera después de quitar la hojarasca.

Compactación: El grado de compactación se midió en cada zona empleando un penetrómetro de bolsillo tipo dual (H-4205). Debido a la elevada heterogeneidad espacial que normalmente presentan los suelos, se tomaron 3 medidas distribuidas al azar en cada zona, considerando la media para análisis posteriores. Se modificó el

tipo de diámetro usado del penetrómetro según el tamaño de partícula de suelo en cada sitio, para ello se siguió a Buchi. Las evaluaciones de compactación se tomaron luego de la eliminación de la CBS. Las muestras SCBS se recolectaron de igual manera después de quitar la hojarasca.

Materia orgánica: Bajo cada zona perteneciente al bloque se recolectó una muestra de suelo (50 g) entre 0-5 cm de profundidad. Cada muestra estuvo compuesta por 3 submuestras abarcando así la heterogeneidad de la zona. Para la extracción se empleó un sacabocados metálico de 5 cm de diámetro. Las muestras se extrajeron luego de la eliminación de la CBS. Las muestras SCBS se recolectaron de igual manera después de quitar la hojarasca. Se extrajo un total de 60 muestras, 30 correspondieron a la zona CCBS y 30 a la SCBS. Para la determinación de materia orgánica en laboratorio, se empleó la técnica por calcinación (Schulte y Hopkins, 1996).

Nitrógeno y fósforo: Para determinar el contenido de N y P bajo las zonas CCBS y SCBS se seleccionaron al azar 15 bloques de los anteriormente descritos. Bajo cada zona perteneciente al bloque se recolectó una muestra de suelo entre 0-5 cm de profundidad. Cada muestra estuvo compuesta por tres submuestras abarcando así la heterogeneidad de la zona. Para la extracción se empleó un sacabocados metálico de 5 cm de diámetro. Las muestras se extrajeron luego de la eliminación de la CBS. Las muestras SCBS se recolectaron de igual manera después de quitar la hojarasca. Para el contenido de

nitrógeno se empleó el método de Kjeldahl (Nelson y Sommers, 1980). El contenido de fósforo, se midió por fotometría de llama (Murphy y Riley, 1962).

Temperatura: Para la determinación de la influencia de las CBS en la temperatura se seleccionaron al azar 5 bloques de los anteriormente descriptos. En cada bloque se registraron los valores de temperatura a nivel del suelo. Para el registro se empleó un termómetro bimetálico.

Condiciones microclimáticas (temperatura y radiación): Para determinar las condiciones microclimáticas de desarrollo de las CBS se realizaron evaluaciones de temperatura y radiación. Los registros se llevaron a cabo sobre 15 bloques conformados por las zonas CCBS y SCBS. En todos los casos las mediciones fueron puntuales y se realizaron en horarios fijos e iguales: 7.00 – 8.30 am; 12.00 – 13.30 pm; 18.00 - 1930 pm.

En cada una de las zonas se registraron la temperatura del aire a 5 y 150 cm sobre el nivel del suelo y la temperatura del suelo (en superficie). Para la temperatura en el suelo se empleó un termómetro bimetálico (Premium instruments) y para la de aire un termómetro digital (TFA D-2000).

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) se registró a nivel del suelo, mediante el empleo de un radiómetro de punto (Apogee quantum).

Análisis estadísticos. En todos los casos se aseguró la independencia estadística de los datos, la normalidad se comprobó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Para todos los análisis el nivel de significancia fue de $\alpha= 0,05$.

Para detectar si existen diferencias significativas (en la compactación, estabilidad y en las concentraciones de nitrógeno, fósforo, materia orgánica y en la temperatura y radiación) entre zonas (CCBS y SCBS) pertenecientes al bloque se realizaron análisis de la varianza para datos agrupados (prueba de Friedmann).

Todos los gráficos se construyeron con el software SigmaPlot v.11. Los análisis se efectuaron con el software Infostat v.16 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

Resultados

Las zonas CCBS presentaron niveles de estabilidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo superiores a las SCBS, encontrándose diferencias significativas entre zonas para materia orgánica ($T= 196$; $p<0,0001$) y nitrógeno ($T= 10,4$; $p<0,0066$) (Tabla 1, Figura 1).

A diferencia de las otras variables evaluadas, la compactación fue en promedio 1,6 veces superior en las zonas SCBS, encontrándose diferencias significativas entre zonas (CCBS vs. SCBS) ($T= 87,52$; $p<0,0001$) (Tabla 1, Figura 1B).

Figura 1. Valores medios. A: estabilidad; B: compactación (kg.m^2); C: materia orgánica (%); D: nitrógeno (ppm); E: fósforo (ppm) y F: temperatura subsuperficial ($^{\circ}\text{C}$) en zonas con costras biológicas (CCB) y sin costras biológicas (SCB). Las cajas representan los valores medios y las barras el desvío estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$).

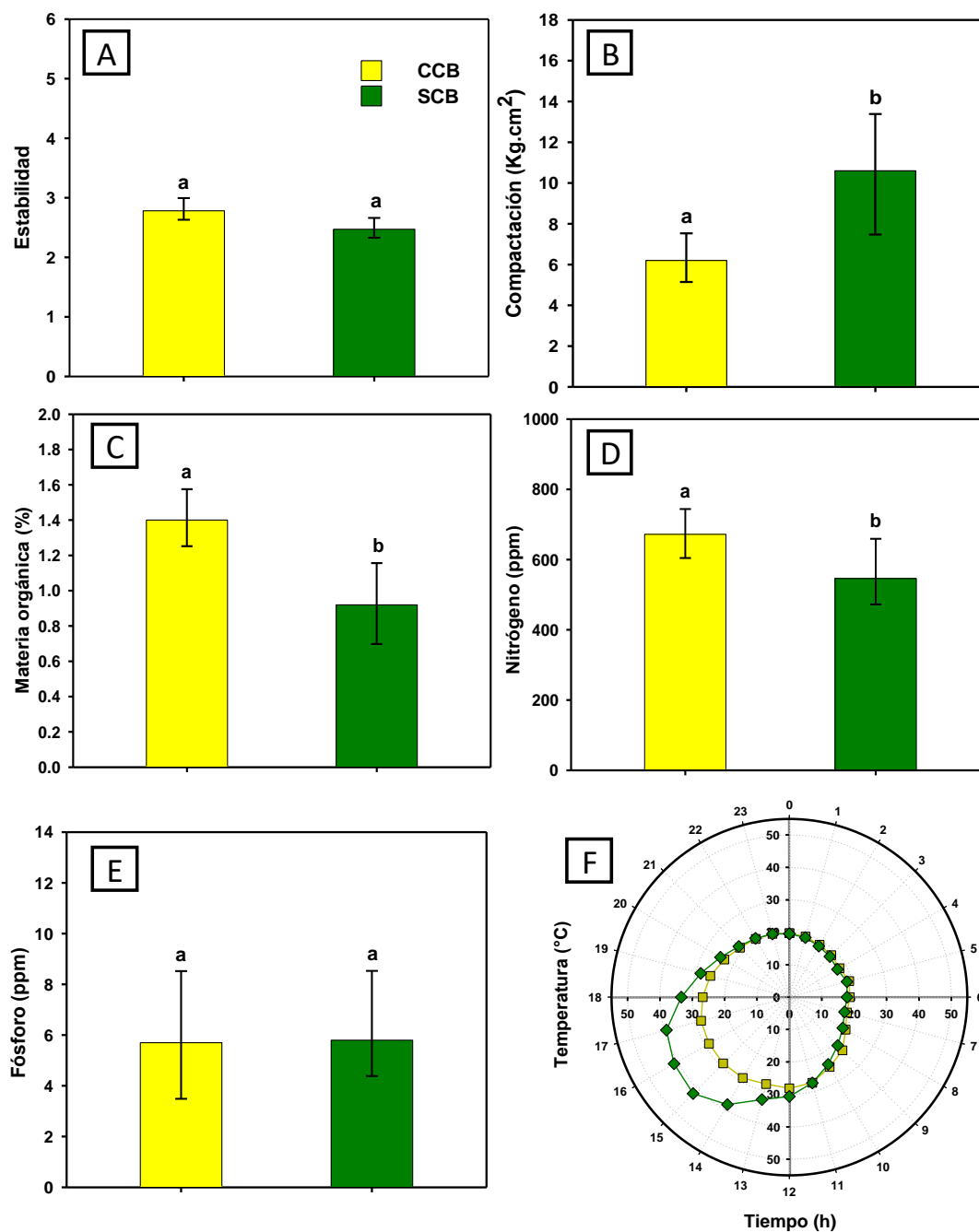


Tabla 1. Medias muestrales, desvío estándar (DE), mínimos (Mín) y máximos (Máx) de la estabilidad, compactación (Kg.cm²), nitrógeno (ppm), fósforo (ppm), materia orgánica (%), temperatura (°C) y radiación en función de la presencia de costra biológica. Con costra biológica (CCBS) y sin costra biológica (SCBS).

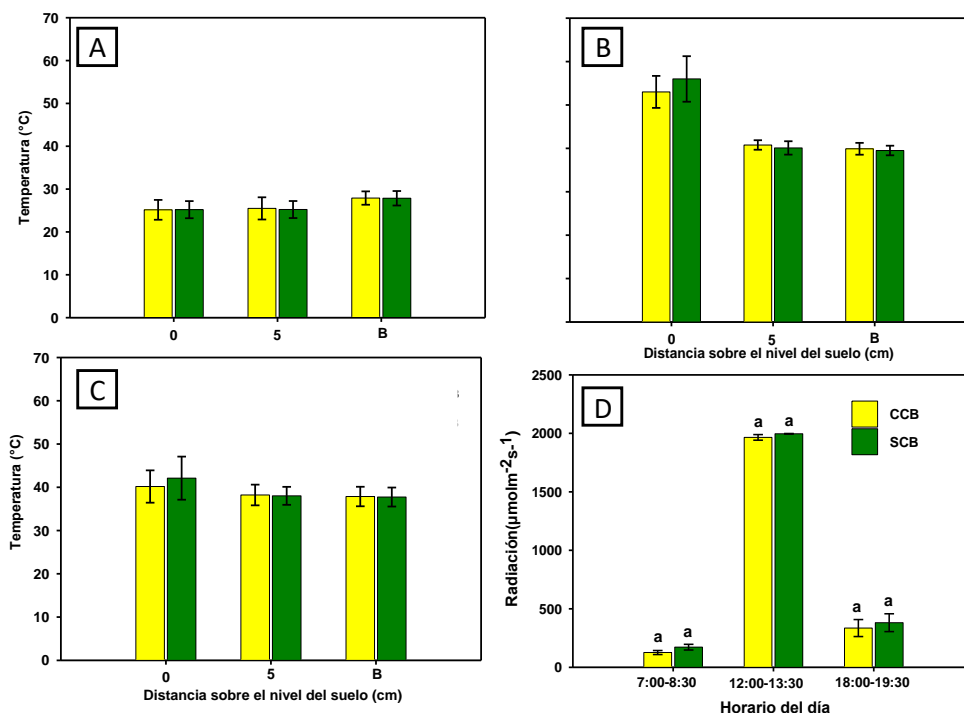
| Atributos | | Ubicación | Media | DE | Min | Máx |
|-------------------|------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| Propiedades | Estabilidad | CCBS | 2,81 | 1,00 | 1,31 | 4,94 |
| | | SCBS | 2,50 | 0,91 | 1,00 | 4,25 |
| | Compactación (Kg.cm ²) | CCBS | 6,34 | 1,19 | 4,27 | 8,73 |
| | | SCBS | 10,43 | 2,96 | 4,87 | 16,6 |
| | Nitrógeno (ppm) | CCBS | 674,14 | 69,80 | 560,00 | 812,00 |
| | | SCBS | 565,70 | 93,50 | 420,00 | 756,00 |
| | Fósforo (ppm) | CCBS | 2,51 | 2,52 | 3,4 | 12,28 |
| | | SCBS | 2,07 | 2,07 | 3,8 | 9,96 |
| | Materia Orgánica (ppm) | CCBS | 1,41 | 0,16 | 1,15 | 1,75 |
| | | SCBS | 0,93 | 0,23 | 0,65 | 1,8 |
| | Temperatura subsu. (°C) | CCBS | 22,92 | 4,08 | 17,83 | 28,89 |
| | | SCBS | 25,18 | 8,2 | 17,11 | 42,03 |
| Condiciones micr. | Temperatura (°C) | CCBS | 36,72 | 8,78 | 23 | 58,9 |
| | | SCBS | 37,09 | 9,64 | 22,4 | 62,3 |
| | Radiación (μmol ⁻²⁻¹) | CCBS | 925,82 | 897,04 | 20 | 2000 |
| | | SCBS | 965,48 | 888,26 | 24 | 2000 |

La temperatura bajo las zonas CCBS resultó ser en todos los casos inferior a las zonas SCBS. La diferencia entre zonas (CCBS vs. SCBS) estuvo comprendida entre las 9.00 - 19.00 h. Las CBS lograron una diferencia promedio de 2,2°C, con picos de 13°C entre las 13.00 – 17.00 h (Tabla 1, Figura 1F). En esta estación se encontraron diferencias significativas entre zonas CCBS vs. SCBS para el periodo comprendido entre las 12.00 y las 18.00 h (T= 1E30; p<0,0001).

En cuanto a las condiciones microclimáticas de desarrollo de las CBS, las temperaturas para los diferentes periodos

del día evaluados fueron muy similares entre zonas para la mañana, mediodía y tarde, no encontrándose diferencias significativas para ninguna posición en ningún periodo del día (Figura 2). La radiación fotosintéticamente activa mostró un patrón similar a la temperatura con valores muy parecidos entre zonas para la mañana (CCBS= 132,1±127,5; SCBS= 127,3±80,1), mediodía (CCBS= 2000±0; SCBS= 2000±0) y tarde (CCBS= 335,6±381,4; SCBS= 290,2±305,4), no encontrándose diferencias significativas entre zonas para ninguno de los periodos del día evaluados (Figura 2).

Figura 2. Valores medios de temperatura (°C). A: mañana. B: mediodía. C: tarde. D: radiación ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en zonas con costras biológicas (CCB) y sin costras biológicas (SCB). Las cajas representan los valores medios y las barras el desvío estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$).



Discusión y Conclusiones

En el sistema evaluado, las CBS produjeron importantes modificaciones en los niveles de estabilidad, compactación, materia orgánica, nitrógeno y temperatura. Tales modificaciones pueden tener fuertes implicancias en la regulación de recursos y en la forma en la que estos quedan disponibles, resultando en un efecto positivo en sitios recientemente perturbados.

La estabilidad del suelo bajo las zonas CCBS mostró un comportamiento relativamente uniforme, resultando las zonas CCBS con valores de estabilidad levemente superiores a las SCBS. La falta de diferencia hallada en la estabilidad en este sistema puede estar relacionada con la textura arcillo-limosa, la pedregosidad y la presencia de raíces de vegetación vascular,

que harían que las diferencias de estabilidad sean menos notables. Sin embargo, las zonas CCBS mostraron una tendencia a incrementar la estabilidad del suelo de 2 maneras clave: a través del agregado mecánico de partículas de suelo con filamentos y rizines, y a través de la secreción de sustancia adherentes (Lynch y Bragg, 1985). El incremento en la estabilidad del suelo en estos sistemas es un atributo clave para la restauración, pues disminuye los riesgos de erosión por agua y viento, factor frecuente en sitios perturbados.

En términos generales, las CBS generaron una disminución en los niveles de compactación del suelo subyacente. La compactación es uno de los efectos más frecuentes producto de las perturbaciones y también uno de los más perjudiciales. Altos niveles de compactación en el suelo se

transforman en un enorme problema ecológico. La presión superficial aplicada a los suelos causa la ruptura de los enlaces de los agentes de agregación que mantienen las partículas del suelo juntas en unidades estructurales (Cassel, 1983). Así, la compactación típicamente altera la estructura y la hidrología del suelo. Aumenta la densidad aparente, degrada los agregados del suelo, disminuye la porosidad y la capacidad de aireación, generando una reducción en los niveles de infiltración; aumentando el escurrimiento del agua y la erosión del suelo. Una reducción en la compactación es clave para acelerar la recuperación de sistemas degradados.

Las zonas CCBS mostraron un incremento significativo en los niveles de materia orgánica. Las CBS son capaces de fijar C atmosférico (Beymer y Klopatek, 1991) y aumentar la acumulación de C en el suelo mediante la generación de materia orgánica en descomposición o a través de la producción de polisacáridos extracelulares (Mager y Thomas, 2011). El contenido de polisacáridos puede ser 1,5 a 3 veces más alto en muestras de cobertura densa de CBS que en cobertura escasa (Issa *et al.*, 2001). Rao y Burns (1990) y Rogers y Burns (1994), entre otros, han reportado un aumento de hasta el 300% en el contenido de C en el suelo.

Los niveles de nitrógeno se incrementaron significativamente bajo zonas CCBS. La capacidad de algunos componentes de las CBS como cianobacterias y cianolíquenes de fijar el N atmosférico (Evans y Ehleringer, 1993) es una de las causas

principales de este incremento. Coincidente con estos resultados, Thomas y Dougill (2007) informaron que las CBS con cianobacterias aumentaron significativamente el N en comparación con superficies no consolidadas. Gao *et al.* (2010) encontraron que los CBS aumentaron significativamente el N en la capa superficial del suelo sobre todo en condiciones húmedas. El fósforo no mostró un patrón claro, con pequeños incrementos en las zonas CCBS. Sin embargo, pequeños desbalances en los niveles de fósforo pueden tener un profundo impacto en procesos ecológicos clave. El fósforo es un macroelemento esencial para el crecimiento de las plantas, siendo clave en procesos metabólicos (fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de carbohidratos). Las CBS son capaces de segregar compuestos quelantes que rompen los enlaces que mantenían al fósforo no disponible, habilitando su uso por las plantas vasculares y favoreciendo así su crecimiento y recuperación (Lange, 1974).

Incrementos en los niveles de fertilidad (materia orgánica, nitrógeno, fósforo) son claves en el contexto de la restauración, más aún si tenemos en cuenta que la principal problemática de los procesos de perturbación, es la degradación y pérdida de la capa orgánica y con ello la posibilidad de una recuperación rápida del sistema.

La temperatura bajo las zonas CCB resultó ser inferior que en las zonas desnudas. La capacidad de las CBS de amortiguar las variaciones en la temperatura, a través del aislamiento por la presencia de la capa

orgánica puede tener profundos efectos a nivel ecosistémico. Una disminución de la temperatura o temperaturas más estables en el tiempo, puede reducir las pérdidas bruscas de agua por evaporación, manteniéndola disponible por más tiempo, generando así micrositios más óptimos tanto para actividades microbianas como para la instalación y germinación de semillas (Belnap y Harper, 1995).

Las condiciones microclimáticas (temperatura y radiación) resultaron ser similares en ambas zonas (SCBS y CCBS). Esta escasa variación en las condiciones de desarrollo, indicarían la elevada resistencia de las CBS a condiciones extremadamente adversas para otros organismos, resaltando su capacidad para colonizar espacios abiertos y tolerar altas amplitudes térmicas, un escenario frecuente en las zonas áridas.

Las costras biológicas del suelo son capaces de proporcionar servicios ecosistémicos significativos a las tierras áridas. En los trabajos de restauración es importante que estén representados todos los grupos funcionales necesarios para el desarrollo y estabilidad del ecosistema. El mejoramiento en las propiedades del suelo por parte de las CBS podría, potencialmente usarse para acelerar la restauración de áreas perturbadas.

Agradecimientos

Agradecemos a Yanina Ribas, Yamil Rodríguez, David Ponce, Romina Navas por su colaboración en las tareas de campo. Este trabajo fue parcialmente financiado por una Beca CONICET categoría doctoral.

Bibliografía

- Abensperg-Traun, M.; Wrbka, T.; Bieringer, G.; Hobbs, R.; Deininger, F.; Main, B.Y.; Zulka, K.P. 2004. Ecological restoration in the slipstream of agricultural policy in the old and new world. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 103(3), 601–611. On line: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.10.002>
- Barrett, G.; Trappe, J.M.; Drew, A.; Stol, J. y Freudenberger, D. 2009. Fungus diversity in revegetated paddocks compared with remnant woodland in a south-eastern Australian agricultural landscape. *Ecol. Manag. Restor.*, 10(3), 200–209. On line: <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2009.00492.x>
- Belnap, J. y Harper, K.T. 1995. Influence of cryptobiotic soil crusts on elemental content of tissue of two desert seed plants. *Arid Soil Res. Rehabil.*, 9(2), 107–115. On line: <https://doi.org/10.1080/1532499509385879>.
- Belnap, J. y Lange, O.L. 2003. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management* (Vol. 150). On line: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8>
- Beymer, R.J. y Klopatek, J.M. 1991. Potential contribution of carbon by microphytic crusts in pinyon-juniper woodlands. *Arid L. Res. Manag.*, 5(3), 187–198. On line: <https://doi.org/10.1080/15324989109381279>
- Bowker, M.A. 2007. *Biological Soil Crust Rehabilitation in Theory and Practice: An Underexploited Opportunity*. *Restor. Ecol.*,

15(1), 13–23. On line: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00185.x>

Cassel, D.K. 1983. Effects of soil characteristics and tillage practices on water storage and its availability to plant roots. In Raper y Kramer Eds. *Crop Relations to Water and Temperature Stresses in Humid Temperate Climates*.

Dalmaso, A. y Martínez Carretero, E. 2013. Revegetación de áreas degradadas. Estudio de caso en plataformas petroleras en Malargue, Mendoza. En: Rovere, Pérez y Rodríguez Araujo Eds. *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina*. 1a edición. Buenos Aires, pp. 275–292. Vázquez Mazzini.

di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. 2016. Infostat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Retrieved from <http://www.infostat.com.ar>

Evans, R.D. y Ehleringer, J.R. 1993. A break in the nitrogen cycle in aridlands? Evidence from $\delta^{15}\text{N}$ of soils. *Oecologia*, 94(3), 314–317. On line: <https://doi.org/10.1007/BF00317104>

Farinaccio, F.; Rovere, A. y Pérez, D. 2013. Rehabilitación con *Pappostipa speciosa* (Poaceae), en canteras abandonadas por actividad petrolera en zonas áridas de Neuquén, Argentina. *Restauración en la Diagonal Árida de la Argentina*. 1a edición. Pérez, Rovere, y Fernández Araujo Eds. Buenos Aires, 320 pp. Ed. Vázquez Mazzini.

Fatima, K.; Imran, A.; Amin, I.; Khan, Q.M. y Afzal, M. 2018a. Successful

phytoremediation of crude-oil contaminated soil at an oil exploration and production company by plants-bacterial synergism. *Int. J. Phytoremediation*, 20(7), 675–681. On line: <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1413331>

Fatima, K.; Imran, A.; Amin, I.; Khan, Q.M. y Afzal, M. 2018b. Successful phytoremediation of crude-oil contaminated soil at an oil exploration and production company by plants-bacterial synergism. *Int. J. Phytoremediation*, 20(7), 675–681. On line: <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1413331>

Fiori, S.M. y Zalba, S.M. 2003. Potential impacts of petroleum exploration and exploitation on biodiversity in a Patagonian nature reserve, Argentina. *Biodivers. Conserv.*, 12(6), 1261–1270. On line: <https://doi.org/10.1023/A:1023091922825>

Gao, S.; Ye, X.; Chu, Y. y Dong, M. 2010. Effects of biological soil crusts on profile distribution of soil water, organic carbon and total nitrogen in Mu Us Sandland, China. *J. Plant Ecol.*, 3(4), 279–284. On line: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq015>

Herrera Moratta, M.A.; Navas Romero, A.L.; Dalmaso, A.D. y Mauricio, R.A. 2018. Efecto de motocross en la vegetación y en las propiedades físico-químicas del suelo en la zona aledaña a la Reserva Divisadero Largo, Mendoza. *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina* 3. En: Massara Paletto, Rostagno, Buono, González y Ciano Eds. 1ª edición- Puerto Madryn, 372 pp.

- Issa, O.; Le Bissonnais, Y.; Defarge, C. y Trichet, J. 2001. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. *Geoderma*, 101(3–4), 15–30. On line: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00093-8)
- Kinloch, J.E. y Friedel, M.H. 2005. Soil seed reserves in arid grazing lands of central Australia. Part 1: Seed bank and vegetation dynamics. *J. Arid Environ.*, 60(1), 133–161. On line: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.005>
- Kogbara, R.B.; Dumkhana, B.B.; Ayotamuno, J.M. y Okparanma, R.N. 2017. Recycling stabilised/solidified drill cuttings for forage production in acidic soils. *Chemosphere*, 184, 652–663. On line: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.042>
- Lange, W. 1974. Chelating agents and blue-green algae. *Can. J. Microbiol.*, 20(10), 1311–1321. On line: <https://doi.org/10.2147/vhrm.2006.2.3.239>
- Liu, J.L.; Xie, B.M.; Shi, X.H.; Ma, J.M. y Guo, C.H. 2015. Effects of two plant growth-promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase on oat growth in petroleum-contaminated soil. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12(12), 3887–3894. On line: <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0798-x>
- Lynch, J.M. y Bragg, E. 1985. Microorganisms and Soil Aggregate Stability. In Stewart, Ed. *Advances in Soil Science* (Volume 2, pp. 133–171). Springer-Verlag. On line: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5088-3>
- Mager, D.M. y Thomas, A.D. 2011. Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: A review of their role in dryland soil processes. *J. Arid Environ.*, 75(2), 91–97. On line: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.10.001>
- Martínez Carretero, E. y Dalmasso, A.D. 1992. Litter yield in shrubs of *Larrea* in the andean piedmont of Mendoza, Argentina. *Vegetatio*, 101(1), 21–33. On line: <https://doi.org/10.1007/BF00031912>
- Martínez Carretero, E. 2010. La Vegetación del Piedemonte de la Precordillera de Mendoza y San Juan. En: Vich y Gudiño Eds. *Amenazas naturales de origen hídrico en el centro-oeste árido de Argentina*. Pp.: 111–122. San Juan, Argentina, Ed. Fundación Universidad Nacional de San Juan.
- Murphy, J. y Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31–36. On line: [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Navas Romero, A.L.; Herrera Moratta, M.A.; Dalmasso, A.D. y Barros, A. 2019. Quad bike impacts on vegetation and soil physicochemical properties in an arid ecosystem. *Acta Oecologica*, 97(February 2018), 14–22. On line: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.04.007>
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E. 1980. Total nitrogen analysis for soil and plant tissues. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 63(4), 770–778

- [5-2, 13-2]. On line: <https://doi.org/10.21276/ijabpt.2016.7.4.6>
- Norte, F. y Simonelli, S. 2010. Características climáticas del piedemonte precordillerano del norte de Mendoza y sur de San Juan. En Amenazas Naturales de Origen Hídrico en el Centro-Oeste Árido de Argentina. Pp: 91–109. San Juan, Argentina: Editorial Fundación Universidad Nacional de San Juan.
- Rao, D.L.N. y Burns, R.G. 1990. Use of blue-green algae and bryophyte biomass as a source of nitrogen for oil-seed rape. *Biol. Fertil. Soils*, 10(1), 61–64. On line: <https://doi.org/10.1007/BF00336126>
- Regairaz, M. 2000. Suelos de Mendoza. En: Abraham y Rodríguez Martínez Eds. Argentina. Recurso y problemas ambientales de la zona árida. Provincia de Mendoza, San Juan y La Rioja. Pp: 59-62. Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina.
- Rogers, S.L. y Burns, R.G. 1994. Changes in aggregate stability, nutrient status, indigenous microbial populations, and seedling emergence, following inoculation of soil with *Nostoc muscorum*. *Biol. Fertil. Soils*, 18(3), 209–215. On line: <https://doi.org/10.1007/BF00647668>
- Roig, F. 1976. Las comunidades vegetales del piedemonte de la precordillera de Mendoza. *Ecosur*, 3(5), 1–45. En línea: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cibagro.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=026751>
- Rosenthal, G. 2003. Selecting target species to evaluate the success of wet grassland restoration. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 98(1–3), 227–246. On line: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00083-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00083-5)
- Rovere, A.E. y Calabrese, G.M. 2011. Diversidad de musgos en ambientes degradados sujetos a restauración en el Parque Nacional Lago Puelo (Chubut, Argentina). *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 84(4), 571–580. En línea: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000400009>
- Schulte, E. y Hopkins, B. 1996. Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. In *Soil organic matter: Analysis and interpretation* (pp. 21–31). American Society of Agronomy. On line: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub46.c3>
- Thomas, A.D. y Dougill, A.J. 2007. Spatial and temporal distribution of cyanobacterial soil crusts in the Kalahari: Implications for soil surface properties. *Geomorphology*, 85(1–2), 17–29. On line: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.029>
- Del Valle, H.F.; Elissalde, N.O.; Gagliardini, D.A. y Milovich, J. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery. *Arid L. Res. Manag.*, 12(2), 95–121. On line: <https://doi.org/10.1080/15324989809381502>
- Williams, L.; Zheng, L.; Maier, S.; Weber, B. y Büdel, B. 2015. Rehabilitation of European Biological Soil Crusts – The SCIN project, 17(April), 2015. On line:

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015EGUGA.1711354W>

Wrigley De Basanta, D.; Lado, C.; Estrada-Torres, A. y Stephenson, S.L. 2010. Biodiversity of myxomycetes in subantarctic forests of Patagonia and Tierra del Fuego, Argentina. *Nov. Hedwigia*, 90(1–2), 45–79. En línea: <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2010/0090-0045>

Xu, S.J.; Yin, C.S.; He, M. y Wang, Y. 2008. A Technology for Rapid

Reconstruction of Moss-Dominated Soil Crusts. *Environ. Eng. Sci.*, 25(8), 1129–1137. On line: <https://doi.org/DOI.10.1089/ees.2007.0272>

Zha, X.; Liao, X.; Zhao, X.; Liu, F.; He, A.Q. y Xiong, W.X. 2017. Turning Waste drilling fluids into a new, sustainable soil resources for landscaping. *Ecol. Eng.* On line: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.026>