



www.madridmasd.org

# Costras biológicas

## del suelo en pastizales gipsófilos del noreste de México

VÍCTOR MANUEL MOLINA GUERRA\*, MARISELA PANDO MORENO\*, ENRIQUE JURADO\*, ISRAEL CANTÚ SILVA\*, EDUARDO ALANÍS RODRÍGUEZ\*

Los pastizales halófilos del noreste de México se caracterizan por su clima extremoso, escasa precipitación pluvial y baja productividad, con endemismos, especies en estatus de conservación y especies de interés en el ecosistema, como *Cynomys mexicanus*, *Taxidea taxus*, *Vulpes velox*, *Aquila chrysaetos*, *Athene cunicularia*, *Spizella wortheni*, *Crotalus scutulatus*, *Larrea tridentata*, *Yucca* sp., *Frankenia gypsophila*,

*Muhlenbergia arenicola*, *Sartwellia mexicana*, *Bouteloua chasei* y *Muhlenbergia villiflora*.<sup>1-5</sup>

En los últimos 50 años, la superficie cubierta con pastizales naturales en el noreste de México ha disminuido rápidamente, de una superficie original de

\* Universidad Autónoma de Nuevo León, FCF.  
Contacto: marisela.pandomr@uanl.edu.mx

1255 km<sup>2</sup> a una actual de 369.4 km<sup>2</sup>, debido sobre todo al cambio de uso del suelo para el establecimiento de área agrícolas,<sup>5</sup> y ha causado con ello una pérdida escalonada de funciones y rendimiento productivo del suelo.<sup>6</sup> Las extensivas y severas modificaciones sufridas por estos ecosistemas han ocasionado su deterioro o pérdida de potencial productivo.

En estos pastizales, es común la presencia de costras biológicas del suelo, las cuales ayudan a disminuir procesos de degradación del suelo. Estos organismos, constituidos por algas, cianobacterias, hongos, musgos, líquenes y bacterias,<sup>7-9</sup> funcionan como ecosistemas, realizando numerosos servicios ecológicos clave.<sup>10</sup> Uno de los servicios más importantes de las costras biológicas del suelo es que contribuyen en la retención del suelo, evitan su pérdida e incrementan su protección,<sup>7,11,12</sup> sirven como indicadores de la calidad del aire, así como también de la salud del ecosistema que los sustenta; proporcionan hábitat para pequeños animales y recursos para nidos y madrigueras, entre otros.<sup>13</sup> Este tipo de costras se encuentran inmediatamente en los primeros milímetros de la superficie del suelo, y se presenta en zonas áridas, semiáridas, regiones polares, sabanas y bosques abiertos.<sup>12,14-16</sup>

De manera general, las investigaciones sobre costras biológicas se han enfocado en la determinación de su composición, distribución y taxonomía, con especial énfasis en el papel que juegan las cianobacterias como fijadoras de nitrógeno.<sup>11,12,17</sup> En países como Australia y Estados Unidos de Norte América, las costras biológicas han sido objeto de estudio desde hace más de 30 años;<sup>14,18</sup> sin embargo, en México hay aún pocos estudios sobre la composición, diversidad y beneficios que proporcionan las costras biológicas en los ecosistemas donde se distribuyen.<sup>19-22</sup> Dada la carencia de información sobre su presencia en los ecosistemas de México, en la presente investigación se plantea cómo evaluar la com-

posición y diversidad de especies de costras biológicas del suelo, en un ecosistema de pastizales gipsófilos de Nuevo León, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el noreste de México, en el municipio de Galeana, Nuevo León, con rangos altitudinales de 1850 a 1890 msnm. El área de estudio presenta una temperatura media normal anual de 15.8°, y una precipitación promedio anual de 427.8 mm.<sup>23</sup> La vegetación presente es pastizal gipsófilo y halófilo,<sup>5,24</sup> conformado por suelos con presencia de yeso (alrededor de 40%) y carbonato de calcio (35%).<sup>25</sup>

La vegetación incluye: *Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.), Frankeniaceae, *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), Poaceae, *Sartwellia mexicana* (A. Gray), Asteraceae, *Bouteloua chasei* (Swall.), Poaceae, *Muhlenbergia villiflora* (Hitchc.), Poaceae, *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., Chenopodiaceae, *Scleropogon brevifolius* (Phil), Poaceae y *Bouteloua dactyloides* (Nutt.) J.T. Columbus, Poaceae.<sup>3,5</sup>

Durante la primavera de 2011, se establecieron diez parcelas de muestreo para cada uno de los tres sitios evaluados: Llano La Soledad (326765E; 2753726N), La Hediondilla (327382E; 2762336N) y El Erial (327619E; 2766023N) (figura 1). Estas áreas presentan un pastoreo de ligero a moderado, principalmente de ganado vacuno y, en menor medida, equino.

El número de parcelas se determinó a través de la curva de acumulación de especies.<sup>26</sup> Las parcelas de muestreo fueron de forma cuadrangular de 50x50cm,<sup>12,27</sup> establecidas sobre líneas con dirección N-S y E-O, con cinco metros entre parcelas. En cada parcela se realizó un censo de las costras biológicas del suelo, y se estimó de manera visual la cobertura de la vegetación. La cobertura de costras

biológicas se determinó con el apoyo de láminas comparativas propuesta por Siebe *et al.*<sup>28</sup>

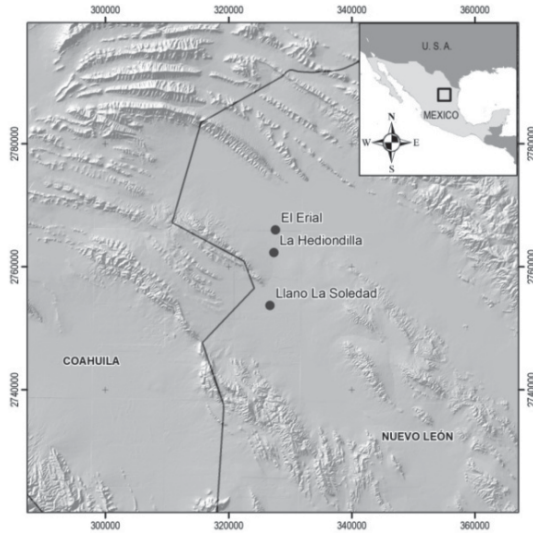


Fig. 1. Localización de las áreas de estudio.

Inicialmente, se realizaron colectas de las costras biológicas del suelo del área y se trasladaron al Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, para su identificación con de las guías de Brodo *et al.*,<sup>29</sup> y de Rosentreter *et al.*,<sup>30</sup> se fotografiaron y se elaboró un manual para identificación en campo, con lo cual se procedió a levantar la información en las parcelas.

Para evaluar el papel relativo de las especies de costras biológicas del suelo en el ecosistema de pastizales, se utilizaron los indicadores ecológicos de abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia.<sup>31,32</sup>

Para estimar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ); y para la diversidad de especies, el índice de Shannon & Weiner ( $H$ ).<sup>33</sup>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cobertura vegetal promedio en el área es de 18.26%. Las costras biológicas del suelo que domi-

nan en el área de estudio están formadas mayoritariamente por líquenes, con cuatro géneros y seis especies. Se registró también la presencia de una hepática y una cianobacteria. En total se registraron cinco familias, seis géneros y ocho especies (tabla I).

Tabla I. Familias, especies y tipos de costras biológicas del suelo identificadas en el área de estudio.

Tipo	Nombre científico	Familia
Liquen	<i>Endocarpon pussillum pussillum</i> (Hedwig)	Verrucariaceae
Hepática	<i>Oxymitra</i> sp.	Oxymitraceae
Cianobacteria	<i>Nostoc commune</i>	Nostocaceae
Liquen	<i>Placidium</i> sp.	Verrucariaceae
Liquen	<i>Psora decipiens</i> (Hedwig) Hoffm.	Psoraceae
Liquen	<i>Psora cerebriforme</i> (W.A. Weber)	Psoraceae
Liquen	<i>Psora crenata</i> (Taylor) Reinke	Psoraceae
Liquen	<i>Xanthoparmelia chlorochroa</i> (Tuck.) Hale	Parmeliaceae

La familia que presentó mayor porcentaje de especies fue *Psoraceae* con 37.5% (tres especies), seguida de *Verrucariaceae*, con 25% (dos géneros) y las tres restantes contribuyen con 12.5% cada una. El género con mayor número de especies fue *Psora*, con tres especies; el resto de los géneros presentaron una especie.

En otras áreas de pastizales del norte de México, que presentan suelos gipsófilos, se han registrado varias de las especies identificadas en este estudio, como *Psora crenata* y *Xanthoparmelia chlorochroa*;<sup>34</sup> *Endocarpon pussillum*, *Oxymitra* sp., *Psora decipiens*, *Psora cerebriforme* *Placidium* sp., *Xanthoparmelia chlorochroa*;<sup>35</sup> *Psora crenata*, cerca de Concepción del Oro, Zacatecas, México; y *Psora decipiens* cerca del área de estudio en la Carretera Nacional San Roberto-Linares, N.L.<sup>36,37</sup>

A diferencia de esos sitios, en otras áreas de pastizal, cuyos suelos contienen carbonatos de calcio sin yeso, las especies registradas escasamente concuerdan con las de este estudio. Para San Luis Potosí, México, reportan: *Acarospora schleicheri*, *Buellia* sp., *Displocistetes* sp., *Placynthiella uliginosa*, *Peltula*

*michoacanensis* y una costra de hongos.<sup>20</sup> Y en comunidades vegetales de tierras secas del Valle de Zapotitlán, México, las costras del suelo más comunes fueron las cianobacterias, sobresaliendo *Chroococcidiopsis* sp. y *Nostoc* sp.<sup>38</sup> Estas diferencias en el tipo de sales presentes en los suelos pueden ser las responsables de la diferencia en las especies de CBS registradas, ya que el único género coincidente con nuestros registros es *Nostoc*, del área de Zapotitlán, y ningún género en común con el área evaluada en San Luis Potosí.

La presencia de los géneros *Placidium*, *Endocarpon* y *Psora* se ha reportado para suelos con alto contenido de carbonatos de calcio,<sup>39</sup> elemento presente en el área de la presente investigación; sin embargo, también se han registrado en áreas que presentan suelos ácidos, con muy escaso contenido de carbonatos de calcio y otras sales solubles,<sup>40,41</sup> lo que permite inferir que son géneros presentes en hábitats muy diversos.

### Indicadores ecológicos

La cobertura promedio de las costras biológicas del suelo fue de 18.1%, para los sitios en su conjunto, y de la vegetación fue de 18.26%. Este porcentaje de cobertura de costras biológicas es menor que 72% encontrado en suelos yesíferos del desierto de Namibia,<sup>42</sup> o la cifra general de regiones áridas y semiáridas del mundo, que es de 40 a 70% de cobertura.<sup>43</sup> Sin embargo, en Australia, en áreas donde se simuló un pastoreo intensivo, se obtuvo entre 1.5% y 7.8% de cobertura de costras biológicas.<sup>44</sup> De manera similar, en un área de pastizales gipsófilos bajo pastoreo, en la parte norte del estado de San Luis Potosí, México, se registró 9.37% de cobertura,<sup>35</sup> mientras que en un estudio realizado en cuatro localidades del Kalahari, en suelos con textura arenosa, se estimó una cobertura de 19 a 40% en todos los sitios.<sup>45</sup> En un bosque de *Callitris glaucophylla*, en

New South Wales, Australia, se registró una cobertura de 12.2 %.<sup>40</sup>

Algunos investigadores reportan rangos muy amplios en el porcentaje de cobertura de las costras biológicas en el suelo, con valores que van de 5 hasta 80%, en ecosistemas de *fynbos*, en Sudáfrica.<sup>46</sup>

El efecto de las actividades pecuarias sobre la cobertura de costras biológicas ha sido ya señalado por diversos autores,<sup>17,41</sup> y puede ser la causa de la baja cobertura encontrada en esta investigación, ya que, por ejemplo, la especie *Xanthoparmelia chlorochroa*, ha sido positivamente correlacionada con áreas sobrepastoreadas.<sup>47</sup>

La especie de costra biológica del suelo que presentó mayor cobertura para la región fue *Endocarpon pussillum*, con 57.65% de cobertura relativa, seguida de *Placidium* sp., con 19.91%. La abundancia de las costras biológicas del suelo fue de 432,000 individuos por hectárea (N/ha). La más abundante fue *Endocarpon pussillum* con 164,000 N/ha, seguida de *Placidium* sp. con 130,666 N/ha, siendo las más representativas para el ecosistema estudiado (figura 3).

Las costras biológicas del suelo más frecuentes, dentro del área de estudio, fueron: *Endocarpon pussillum*, con 30.43%, seguida de *Placidium* sp. y *Nostoc commune* con 26.14 y 13.53%, respectivamente. La especie con el mayor índice de valor de importancia (IVI) fue *Endocarpon pussillum*, con un valor de peso ecológico en el área de 42.02%, seguida por *Placidium* sp., y *Nostoc commune*, con un 26.14 y 13.53% de IVI, respectivamente (tabla II).

### Diversidad

La riqueza específica de costras biológicas del suelo para el área estudiada fue de ocho especies, con un valor del índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) de 1.2, y un índice de diversidad de Shannon & Weiner ( $H'$ ) de 1.68. Pinzón *et al.*,<sup>48</sup> reportan valores de diversidad de

Tabla II. Dominancia, abundancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las costras biológicas del suelo en el área de estudio.

Nombre científico	Dominancia (m <sup>2</sup> /ha)		Abundancia (N/ha)		Frecuencia	IVI
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Rel.	
<i>Endocarpon pussillum</i>	835.00	57.65	164,000	37.96	30.43	42.02
<i>Placidium</i> sp.	288.00	19.91	130,666	30.25	28.26	26.14
<i>Nostoc commune</i>	115.00	7.94	70,666	16.36	16.30	13.53
<i>Psora decipiens</i>	107.00	7.36	32,000	7.41	6.52	7.10
<i>Psora cerebriforme</i>	53.00	3.68	17,333	4.01	9.78	5.83
<i>Psora crenata</i>	13.00	0.92	5,333	1.23	4.35	2.17
<i>Xanthoparmelia chlorochroa</i>	27.00	1.84	8,000	1.85	2.17	1.96
<i>Oxymitra</i> sp.	10.00	0.69	4,000	0.93	2.17	1.26
<b>Suma</b>	<b>1448</b>	<b>100.00</b>	<b>432,000.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Shannon & Weiner, en costras biológicas del suelo, de 0.74 en matorrales, y de 0.72 en suelos desnudos en la región subxerofítica de La Herrera, Colombia; valores inferiores a los obtenidos en la presente investigación. De manera similar, en sitios expuestos al Sol, en el desierto de la India, dominado por cianobacterias (*Phormidium*), reportan una diversidad (Índice de Shannon & Weaver) promedio de  $1.09 \pm 0.48$ .<sup>49</sup> Molina *et al.*<sup>35</sup> reportan un índice de diversidad de Shannon & Weiner de 1.44, en pastizales gipsófilos del norte de San Luis Potosí, México; en ambos casos con valores inferiores a los estimados en la presente investigación. Por el contrario, en un estudio realizado en cuatro sitios del Desierto de Sonora, con suelos áridos hipotérmicos y con técnica molecular para determinar la diversidad procariótica de costras biológicas, encontraron índices de diversidad de Shannon & Weiner de 2.03 a 3.02,<sup>50</sup> valores superiores a los estimados en nuestra área de estudio.

## CONCLUSIONES

Las costras biológicas del suelo que dominan en el área de estudio son las constituidas principalmente

por líquenes; se registró también la presencia de una hepática y una cianobacteria. En total, se registraron cinco familias, seis géneros y ocho especies. La cobertura promedio de costras biológicas del suelo para las áreas de estudio fue de 18.1%. Este porcentaje de cobertura se encuentra dentro de los rangos reportados para áreas pastoreadas, y con escasa cobertura vegetal, como en el área de esta investigación. Los géneros que tuvieron una mayor presencia en el sitio en su conjunto fueron *Psora*, con tres especies y *Placidium*, con dos. *Endocarpon pussillum* es la costra biológica del suelo que mostró mayor representatividad en la zona, con 57.65% de cobertura relativa. La zona presenta valores moderados de riqueza y diversidad de especies de costras biológicas.

## RESUMEN

Se evaluó la diversidad y composición de costras biológicas del suelo en un pastizal con suelos gipsófilos y carbonatos de calcio, en el noreste de México. Se identificaron ocho especies: *Endocarpon pussillum*, *Nostoc commune*, *Oxymitra* sp., *Psora cerebriforme*, *Psora crenata*, *Psora decipiens*, *Placidium* sp. y *Xanthoparmelia chlorochroa*, con cobertura total de

18.1%. Las especies dominantes fueron *Endocarpon pussillum* (57.65%) y *Placidium* sp. (19.91%). La cobertura vegetal fue de 18.3 % y 63.6% de suelo desnudo. La zona mostró valores moderados de diversidad (Shannon & Weiner ( $H'$ ) = 1.68) y de riqueza de costras biológicas del suelo (Índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) = 1.2).

**Palabras clave:** *Endocarpon*, Suelos yesosos, Costra biológica del suelo, Cobertura, Diversidad.

## ABSTRACT

In this paper we measure diversity and composition of biological soil crusts in a grassland ecosystem of gypsum and calcium carbonate soils in northeastern Mexico. Eight species were identified: *Endocarpon pussillum*, *Nostoc commune*, *Oxymitra* sp., *Psora cerebriforme*, *Psora crenata*, *Psora decipiens*, *Placidium* sp., and *Xanthoparmelia chlorochroa*, with a total cover of 18.1%. Dominant species were *Endocarpon pussillum* (57.65%), and *Placidium* sp. (19.91%). Vegetation cover and bare ground were 18.3% and 63.6% respectively. The study area showed moderate diversity values (Shannon & Weiner ( $H'$ ) = 1.68) and biological soil crust species richness (Margalef Index ( $D_{Mg}$ ) = 1.2).

**Keywords:** *Endocarpon*, Gypsiferous soils, Biological soil crust, Cover, Diversity.

## AGRADECIMIENTOS

A los proyectos PRACTICE (Grant 226818) y Paicyt (CT306-10), Conacyt, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y a la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Agradecimientos especiales, por su apoyo en revisiones de los ejemplares de costras biológicas del suelo, al Dr. Claudio Delgadillo

(UNAM), Dr. José Guadalupe Marmolejo M. (FCF, UANL) y a la bióloga Violeta Chacón R. (FCF, UANL).

## REFERENCIAS

1. Day, D.A., Ludeke, K.L. 1993. Plant grow in desert environment. In: Clodsley-Thompson (Ed), Plant Nutrients in Desert Environments Springer-Verlag, Berlin, Germany.
2. Ceballos, G.E., Melink, E., Hanebury, L.R. 1993. Distribution and conservation status of prairie dog *Cynomys mexicanus* in Mexico. *Biological Conservation*. 63:105-112.
3. Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., L. Gómez, L., Loa, E. (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
4. Canales, D.J.C., Scott, M.L.M., Cotera, C.M., Pando, M.M. 2007. Observaciones sobre los sucesos de temporada reproductiva de *Spizella wortheni*. *Ciencia UANL X* (2):160-167.
5. Estrada, C.E., Scott, M.L., Villarreal, Q.J.A., Jurado, Y.E., Cotera C.M., Cantú A.C., García, P.J. 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81:401-416.
6. Mendoza, A.D.O., Pando, M.M., González, R.H., Jurado, E. 2009. Effect of ground water on irrigated lands of northeastern Mexico. *Int. J. Agric. Environ & Biotech*. Vol. 2, No. 3:255-259.
7. Belnap, J., Gardner, J.S. 1993. Soils microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Great Basin Naturalist*. 53:40-47.
8. Hawkes, C.V. 2003. Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del matorral de Florida. *Ecosistemas*. N°2.
9. Zhang, Y. 2005. The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage.

- Chinese Science Bulletin. 50 (2): 117-121.
10. Quiñones, V.J.J., Castellanos, P.E., Valencia, C.C.M., Martínez, R.J.J., Sánchez, O.T., Montes, G.C.A. 2009. Efecto de la biología sobre la infiltración de agua en un pastizal. *TERRA Latinoamericana*. Vol. 27, Núm. 4:287-293.
  11. Langle, O. L., Belnap J., Reichenberger, H. 1998. Photosynthesis of the cyanobacterial soil-crust lichen *Collema tenax* from arid lands in southern Utah, USA: role of water content on light and temperature responses of CO<sub>2</sub> exchange. *Functional Ecology*. 12:195-202.
  12. Castillo, M.A.P., Bowker, M.A., Maestre, F.T., Rodríguez E.S., Martínez I., Barraza Z.E., Escolar, C. 2011. Relationships between biological soil crusts, bacterial diversity and abundance, and ecosystem functioning: Insights from a semi-arid Mediterranean environment. *Journal of Vegetation Science*. 22:165-174.
  13. Will W.S., Esseen, P.A., Neitlich, P. 2002. Monitoring biodiversity and ecosystem function: Forests. Pp. 203-222. In: P.L. Nimis, C. Scheidegger, P.A. Wolseley (eds.). *Monitoring with lichens - monitoring lichens*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
  14. Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, J., Eldridge, D. 2001. Biological soil crusts: Ecology and management. 111p.
  15. Eldridge, D.J. 2001. Biological soil crusts and water relations of Australian deserts. In: Belnap, J. & Lange, O. (eds.) *Biological soil crusts: Structure, management and function*, pp. 315-326. Springer-Verlag Berlin, DE.
  16. B<sup>o</sup>del, B., Darienko, T., Deutschewitz, K., Dojani, S., Friedl, T., Mohr, K.I., Salisch, Reisser, W., Weber, B. 2009. Southern African biological soil crusts are unispecific and highly diverse in drylands, being restricted by rainfall frequency. *Microb Ecol* 57:229-247.
  17. Liu, H., Han, X., Li, L., Huang, J., Liu, H., Li, X. 2009. Grazing density effects on cover, species composition, and nitrogen fixation of biological soil crust in an inner Mongolia Steppe. *Rangeland Ecology and Management*. 62:321-327.
  18. Green, D. 1992. Rangeland assessment. In: *New South Wales Proceedings of the 7<sup>th</sup> Biennial Conference*, Australian Rangeland Society, Cobar, New South Wales. 267-268.
  19. Rivera, A.V., Cacheux, I.M., Álvarez, H.G. 2004. Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias*. 75:24-27.
  20. Jiménez, A.A. 2005. Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. Tesis de maestría. IPICYT. San Luis Potosí, México. 47 p.
  21. Rivera, A.V., Godínez, A.H., Manuell, C.I., Rodríguez, Z.S. 2005. Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions. *Journal of Arid Environments*. 63: 344-352.
  22. López, C.A., Maya Y., García, M.J.Q. 2010. Diversidad filogenética de especies de *Microcoleus* de costras biológicas de suelo de la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81: 1-7.
  23. Servicio Meteorológico Nacional. 2000. Normales climatológicas 1971-2000. Estación San Rafael, Galeana, Nuevo León.
  24. Capo, A.M.A., Lujan, A.C., Treviño, G.E., Najera, C.J.A., Morales, Q.L., Cabral, C.I., Cuevas, H.J.L. 2007. Diagnóstico del sector forestal del estado de Nuevo León. Gobierno del estado de Nuevo León, CONAFOR, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monterrey, Nuevo León. 37 p.
  25. Reyna, L. 2007. Caracterización de suelos de colonias del perrito llanero (*Cynomys mexicanus* Merriam), en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Linares, N.L. México. 48 p.
  26. Colwell, R.K. (2000) *Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 6.0. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
  27. Chamizo, S., Rodríguez, C.E., Miralles, M.I., Afana, A., Lázaro, R., Domingo, F., Calvo, C.A., Sole, B.A., Cantón, Y. 2010. Características de las costras físicas y biológicas.

- gicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos Revista de Ecología de Montaña*. 165:69-96.
28. Siebe, C., Jahn, R., Stahr, K. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. P.E. 4. 57 p.
  29. Brodo, J.D., Sharnoff, S., Sharnoff, S. 2001. Lichens of North America. Yale University Press & New Haven and London. 795 p.
  30. Rosentreter, R., Bowker, M. & Belnap, J. 2007. A Field guide to biological soil crusts of Western U.S. Drylands. U.S. Government Printing Office, Denver, Colorado.
  31. Magurran, A. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing company. Oxford, UK. Pp. 106-121.
  32. Alanís, R.E., Jiménez P.J., Aguirre, C.O., Treviño, G.E., Jurado, Y.E., González, T.M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*. Vol. XI, 001:56-62.
  33. Shannon, C. 1948. The mathematical theory of communication. In C. E. Shannon; W. Weaver (Ed). Univ. of Illinois Press; Pp. 134-154.
  34. Yen, M.M.C. 2006. Cambios en cobertura y composición florística del pastizal halófilo en el estado de Nuevo León. Tesis Licenciatura. F.C.F. de la U.A.N.L., Linares, N. L. 55 p.
  35. Molina, G.V.M., Pando, M.M., Estrada, C.A.E., Flores, R.J., Chacón, R.V., Marmolejo, M.J.G. 2012. Costras biológicas del suelo en pastizales del Altiplano Mexicano. Memoria VIII Simposio Internacional sobre Flora Silvestre en Zonas Áridas. Gómez Palacio, Durango, México. Pp. 423-432.
  36. Nash III, T.H. 1976<sup>a</sup>. Consortium of North American Lichen Herbaria. Arizona State University Lichen Herbarium. Taxon: *Psora decipiens* (Hedwig) Hoffman. Disponible en: <http://lichenportal.org/portal/collections/individual/index.php?occid=47251&clid=0> [consulta 05 de septiembre de 2012].
  37. Nash III, T.H. 1976<sup>b</sup>. Consortium of North American Lichen Herbaria. Arizona State University Lichen Herbarium. Taxon: *Psora crenata* (Taylor) Reinke. Disponible en: <http://lichenportal.org/portal/collections/individual/index.php?occid=47102&clid=0> [consulta 13 de septiembre de 2012].
  38. Rivera, A.V., Godínez, A.H., Moreno, T.R., Rodríguez, Z.S. 2009. Soil physico-chemical properties affecting the distribution of biological soil crusts along an environmental transect at Zapotitlan drylands, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 73:1023-1028.
  39. Bowker, M.A., Belnap, J. 2008. A simple classification of soil types as habitats of biological soil crusts on the Colorado Plateau, USA. *Journal of Vegetation Science*. 19(6):831-840.
  40. Thompson, W.A., Eldridge, D.J., Bonsera, S.P. 2006. Structure of biological soil crust communities in *Callitris glaucophylla* woodlands of New South Wales, Australia. *Journal of Vegetation Science*, 17: 271-280.
  41. Ponzetti, J.M., McCune, B.P. 2001. Biotic soil crusts of Oregon's Shrub Steppe: Community composition in relation to soil chemistry, climate, and livestock activity. *The Bryologist* 104(2):212-225.
  42. Lalley, J.S., Viles A.V. 2005. Terricolous lichens in the northern Namib Desert of Namibia: distribution and community composition. *The Lichenologist*. 37 (1):77-91.
  43. Belnap, J. 1994. Potential role of cryptobiotic soil crusts in semiarids rangelands. In: Monsen SB, Kitchen SG, (eds) Proceedings-Ecology and Management of Annual Rangelands. General Technical Report INT-GTR-313. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Odgen, UT, pp 179-185.
  44. Eldridge, D.J. Leys, J.F. 2003. Exploring some relationships between biological soil crust, soil aggregation and wind erosion. *Journal of Arid Environments* 52:457-466.
  45. Dougill, A.J., Thomas, A.D. 2004. Kalahari sand soils: spatial heterogeneity, biological soil crusts and land degradation. *Land Degradation & Development*. 15(3):233-242.



46. Mager DM, Hui C. A first record of biological soil crusts in the Cape Floristic Region. *S Afr J Sci.* 2012;108(7/8), Art. #1013, 4 pages. <http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v108i7/8.1013>
47. MacCracken, J. G., Alexander, L.E., Uresk, D.W. 1983. An important lichen of southeastern Montana rangelands. *Journal of Range Management* 36: 35-37.
48. Pinzón, M., Linares, E.L. 2006. Diversidad de líquenes y briofitos en la región subxerofítica de La Herrera, Mosquera (Cundinamarca-Colombia). I. Riqueza y Estructura. *Caldasia.* 28(2):243-257.
49. Bhatnagar, A., Bhatnagar, M., Makandar, Md. B. and Garg, M. K. 2003. Satellite centre for microalgal biodiversity in arid zones of Rajasthan. Project completion Report, Funded by Department of Biotechnology, New Delhi.
50. Nagy, M.L., Pérez, A., Garcia-Pichel, F. 2005. The prokaryotic diversity of biological soil crusts in the Sonoran Desert (Organ Pipe Cactus National Monument, AZ). *FEMS Microbiology Ecology* 54:233-245.

*Recibido: 9 de agosto 2012*

*Aceptado: 17 de junio 2013*