

Diversidad de costras biológicas del suelo en pastizales halófilos del norte de México

Víctor Molina^{1,2}, Marisela Pando², José Marmolejo², Eduardo Alanís³

Departamento Ambiental¹, Departamento Agroforestal², Departamento de Silvicultura y Manejo Forestal³
RENAC, SA. de C.V.¹, Universidad Autónoma de Nuevo León^{2,3}

Linares, N. L., México

vmmolinaguerra@hotmail.com, [marisela.pandomr, jose.marmolejomo, eduardo.alanisrd]@uanl.edu.mx

Abstract— The present study evaluates the biological diversity of soil crusts in the Halophytic Grasslands of Northern Mexico. Three sites were selected and placed 10 sampling plots of 50 x 50 cm on N-S and E-W line, with a separation of 5 meters among quadrants. The species and biological crusts were identified and its coverage determined. We estimated the ecological indicators as abundance, dominance, frequency, importance value index, Margalef's and Shannon's Index. Lichens were the predominant type of crust with 5 genera, followed by a cyanobacteria and one hepatic. Seven species of biological soil crusts were identified, exhibiting a 21.22% cover. Dominant species were *Endocarpom pussillum* with a relative dominance of 58.47%; *Nostoc commune* 18.63% and *Placidium* sp. with 9.43%. *Endocarpom pussillum* also had the highest Importance Value Index with an ecological weight of 37.5%. It is considered that the ecosystem of the study area showed high diversity and richness of BSC.

Keyword— *Biological soil crusts, cover, diversity, grassland.*

Resumen— La presente investigación evalúa la diversidad de Costras Biológicas del Suelo en Pastizales Halófilos del Norte de México. Se seleccionaron tres sitios, en cada uno se establecieron 10 cuadrantes de muestreo de 50 x 50 cm sobre una línea con dirección N-S y otra E-O, con una separación de 5 metros entre cuadrantes. Se identificaron las especies Costras Biológicas y se les determinó su cobertura. Se estimaron los indicadores ecológicos de abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia, índice de Margalef e índice de Shannon. Los líquenes fueron el tipo de costra predominante con cinco géneros, seguidos de una cianobacteria y una hepática. Se identificaron siete especies de costras biológicas del suelo, con una cobertura total de 21.22%. Las especies dominantes fueron *Endocarpom pussillum*, con el 58.47% de dominancia relativa; *Nostoc commune* con 18.63% y *Placidium* sp con 9.43%. *Endocarpom pussillum* presenta el mayor Índice de Valor de Importancia con un peso ecológico de 37.5%. Se considera que el ecosistema de la zona del estudio, mostró alta diversidad y riqueza de costras biológicas del suelo.

Palabras claves— *Cobertura, costras biológicas del suelo, diversidad, pastizales.*

I. INTRODUCCIÓN

Los pastizales naturales de México cubren aproximadamente 10% del territorio nacional [1], caracterizados por un clima extremo, escasa precipitación y baja productividad, siendo un refugio importante para especies de fauna residente y migratoria, además de presentar endemismos y especies de fauna en algún estatus de conservación como el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*), águila real (*Aquila chrysaetos*), gorrión de worthen (*Spizella wortheni*), víbora de cascabel (*Crotalus scutulatus*), y de flora importante para el ecosistema de pastizales como la gobernadora (*Larrea tridentata*), *Zinnia acerosa*, *Sartwellia mexicana*, *Scleropogon brevifolius* y *Muhlenbergia arenicola* [2,3,4,5,6].

Actualmente, los pastizales halófilos del norte de Nuevo León (noreste de México) se utilizan para actividades agrícolas, como el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) y papa (*Solanum tuberosum*), lo cual ha ocasionado la fragmentación de los pastizales nativos, modificando la composición de especies [6] y alterando algunas de las propiedades del suelo [7]. El deterioro que presentan los pastizales ubicados en la Región Terrestre Prioritaria (RTP)-80 "El Tokio" es el resultado de una visión estrecha acerca de la utilidad y servicios que proporcionan estos ecosistemas, así como una incompreensión sobre las servidumbres ecológicas emanadas de ellos.

En estos pastizales existen organismos que pueden contribuir a la disminución de los procesos de degradación del suelo. Dichos organismos son conocidos como costras biológicas del suelo, constituidas por algas, cianobacterias, hongos, musgos, líquenes y bacterias [8,9,10,11,12]. Estas costras biológicas se encuentran en la superficie del suelo o inmediatamente en los primeros milímetros de éste, mayoritariamente en las regiones de altas temperaturas, áridas y semiáridas [12,13,14], funcionando como ecosistemas y realizando numerosos servicios ecológicos clave [15,16]. Las costras biológicas del suelo pueden incrementar la protección del suelo y contribuir a una mayor retención [8,17,18].

Las investigaciones sobre las costras biológicas han sido dirigidas, principalmente, hacia la determinación de su composición, distribución y taxonomía, así como hacia el papel que juegan las especies de cianobacterias como fijadoras de nitrógeno [17,18,19,20,21]. En México, existe escaso conocimiento sobre las especies, diversidad y beneficios que proporcionan las costras biológicas a los ecosistemas donde se presentan [11,20,22,23,24,25,26] e igualmente sobre la superficie que éstas ocupan, a diferencia de lo que ocurre en países como Australia o Estados Unidos, en donde se ha colectado información sobre la cobertura de costras biológicas del suelo desde mediados de 1980's [13,27]. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la composición y diversidad de las especies de costras biológicas del suelo presentes en la parte norte de la Región Terrestre Prioritaria 80 "El Tokio" (noreste de México).

METODOLOGÍA

A. Área de estudio

En el presente estudio se seleccionaron tres sitios ubicados en el Noroeste de la Región Terrestre Prioritaria 80 "El Tokio": Casitas, municipio de Galeana, Nuevo León (325628E:2768167N), Artesillas (326474E:2789 463E), municipio de Arteaga, Coahuila y La India (275240E:2771547N), municipio de Saltillo, Coahuila (Figura 1), todos en el noreste de México; con rangos de 1880 a 2010 metros sobre el nivel del mar.

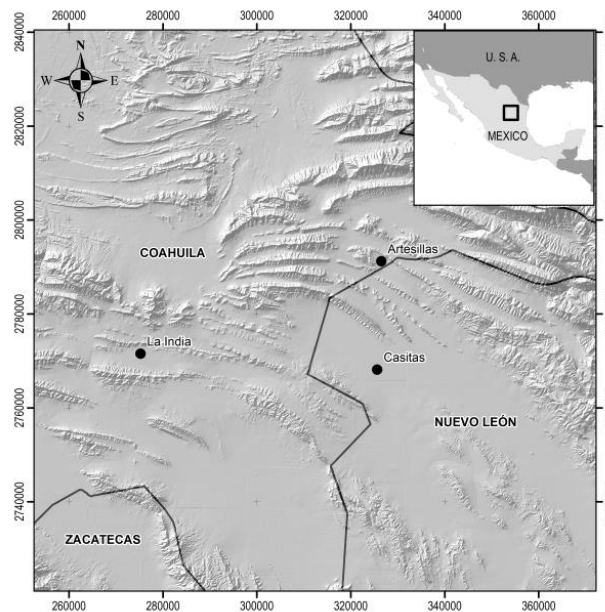


Fig. 1. Localización de las áreas de estudio..

La vegetación presente es pastizal halófilo de porte bajo [6,28], conformado por suelos con ausencia de yeso y alto contenido de carbonatos de calcio [29], una temperatura máxima normal anual de 25.3°C y una mínima normal anual de 11.1°C, alcanzando la máxima mensual en mayo con 32.7°C y la mínima en enero con 4.5°C. La precipitación normal anual es de 369.3 mm [30]. La vegetación se constituye principalmente de: *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.) *Poaceae*, *Scleropogon brevifolius* (Phil) *Poaceae* [6], *Zinnia acerosa* (DC.) A. Gary *Asteraceae* y *Ephedra* sp. *Ephedraceae*.

B. Evaluación en campo

En la primavera del año 2011, en cada sitio se establecieron 10 cuadrantes de muestreo de 50 x 50 cm [18,31] sobre una línea con dirección N-S y otra E-O, con una separación de 5 metros entre cuadrantes. El número de cuadrantes fue determinado a través de la curva de acumulación de especies [32]. La cobertura de las costras biológicas del suelo se determinó de forma visual con el apoyo de láminas comparativas utilizadas para estimar pedregosidad del suelo, manchas o nódulos, propuesta por Siebe et al. [33], considerándose un individuo, cuando éste, se encontraba separado de una costra biológica del suelo considerándose como una mancha o nódulo. La identificación in situ de las costras biológicas del suelo es problemática, por lo que en algunas investigaciones realizan los registros a nivel de grupos morfológicos [34]. Para solventar parcialmente dicha problemática, en este estudio se realizaron colectas previas de las costras biológicas del suelo de los sitios y se identificaron con el apoyo del personal del laboratorio de micología de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L., utilizando las guías de Brodo et al. [35] y de Rosentreter et al. [19], se fotografiaron y se creó un manual para identificación en campo, con lo cual se procedió a levantar la información en los cuadrantes.

C. Análisis de la información

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 [36,37]. Para la estimación de la abundancia relativa (1) se empleó la siguiente ecuación:

$$A_i = N_i / S$$

$$AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum A_i} \right) * 100 \quad (1)$$

$$i = 1 \dots n$$

donde AR_i es la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, N_i es el número de individuos de la especie i , y S la superficie de muestreo (ha). La dominancia relativa (2) se evaluó mediante:

$$D_i = Ab_i / S(ha)$$

$$DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum D_i} \right) * 100 \quad (2)$$

$$i = 1 \dots n$$

donde DR_i es la dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, Ab el área que cubre la especie i y S la superficie (ha). La frecuencia relativa (3) se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$F_i = \frac{P_i}{NS}$$

$$FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum F_i} \right) * 100 \quad (3)$$

$$i = 1 \dots n$$

donde FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total, P_i es el número de sitios en la que está presente la especie i y NS el número total de sitios de muestreo. El índice de valor de importancia (IVI) se define como (4):

$$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3} \quad (4)$$

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') [38] mediante las ecuaciones (5,6):

$$D_{Mg} = \frac{(s-1)}{\ln(N)} \quad (5)$$

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i) \quad (6)$$

$$p_i = n_i / N \quad (7)$$

Donde S es el número de especies presentes, N es el número total de individuos y n_i es el número de individuos de la especie i . Este índice adquiere valores entre cero cuando hay una sola especie y el logaritmo de S cuando todas las especies están representadas.

I. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron cuatro familias, cinco géneros y siete especies de costras biológicas del suelo (Tabla1).

El tipo de costra biológica del suelo que predominó en el área de estudio fueron los líquenes con cinco géneros, seguidos de una cianobacteria y una hepática. Otros estudios realizados en suelos con alto contenido de calcio reportan mayor diversidad de especies; por ejemplo en la investigación realizada por Rivera et al., [20], en nueve unidades ambientales ubicadas en el Valle de Zapotitlán, Puebla, México, en suelos con alto contenido de carbonatos de calcio y materia orgánica, registraron siete especies de cianobacterias, ocho de líquenes y 19 de musgos. Dicha diferencia en la diversidad es debida, seguramente, al mayor número de unidades ambientales evaluadas, ya que en la presente investigación únicamente se evaluó una unidad ambiental que fue el pastizal halófito, con tres sitios como repeticiones.

Tabla I. Especies de costras biológicas del suelo registradas.

Tipo	Nombre científico	Familia
Liquen	<i>Endocarpon pussillum</i> (Hedwig)	Verrucariaceae
Hepática	<i>Oxymitra</i> sp.	Oxymitraceae
Liquen	<i>Placidium lacinulatum</i> (Ach.) Breuss	Verrucariaceae
Liquen	<i>Placidium</i> sp.	Verrucariaceae
Liquen	<i>Psora decipiens</i> (Hedwig) Hoffm.	Psoraceae
Liquen	<i>Psora cerebriforme</i> (W.A. Weber)	Psoraceae
Cianobacteria	<i>Nostoc commune</i>	Nostocaceae
	Vaucher ex Bornet & Flahault	

En el presente estudio, los géneros con mayor presencia fueron *Psora* y *Placidium* con dos especies cada uno, géneros que parecen estar asociados a altas concentraciones de carbonato de calcio [39]. La familia de costras biológicas del suelo más diversa fue Verrucariaceae (42.85%) con tres especies, seguida de Psoraceae (28.57%) con dos, Oxymitraceae y Nostocaceae que contribuyeron con el 14.28% cada una (una especie por familia).

Rivera *et al.* [20] registraron los géneros *Nostoc*, *Placidium*, *Psora* y *Endocarpon* en un estudio realizado en el Valle de Zapotitlán, Puebla, México, mismos que se reportan en la presente investigación. Asimismo, otros investigadores que han trabajado en los pastizales halófitos del norte de México han reportado la presencia de algunas de las especies encontradas en este estudio, como *Psora crenata* [40,41] y *Placidium lacinuatum* y *Psora decipiens* que se encuentran reportadas en el Herbario de Líquenes de la Universidad de Arizona en Estados Unidos como colectadas en el entronque San Roberto, Galena, Nuevo León, a escasos kilómetros del área de estudio de la presente investigación [42,43]. Sin embargo, en otro estudio realizado en pastizales del norte de San Luis Potosí, México, que originalmente presentaba bosque de *Pinus*, a una altitud de 2330 m, en un suelo con alto contenido de carbonatos de calcio, se identificaron seis tipos de costras biológicas del suelo con diferentes morfologías, siendo éstas: *Acarospora schleicheri*, *Buellia* sp., *Disploschistes* sp., *Placynthiella uliginosa*, *Peltula michoacanensis* y una costra de hongos [23]. Aun cuando dicho estudio se ubicó también en área de pastizal, ninguna de las costras biológicas del suelo reportadas coincide con las identificadas en el presente estudio, lo cual puede deberse a diferencias en el tipo de suelo, altitud o vegetación asociada.

D. Indicadores ecológicos

La cobertura promedio de las costras biológicas del suelo fue de $21.21 \pm 7.02\%$ lo que representa una cobertura muy escasa, cuando se compara con el porcentaje de cobertura de costras biológicas del suelo reportadas por Lalley & Viles [44] para suelos yesosos del desierto de Namibia, donde registraron una cobertura del 72% o con la reportada por Belnap [8] quien menciona que en las zonas áridas y semiáridas del mundo alcanzan a cubrir del 40 al 70% de la superficie. Sin embargo, Molina *et al.* [45] reportaron una cobertura promedio de costras biológicas del suelo de 9.37% para la zona El Salado en la parte norte del estado de San Luis Potosí, México, zona de pastizal, con presencia de suelos gipsófilos. La baja cobertura encontrada en el presente trabajo puede deberse a la presencia de ganado doméstico en el área, al igual que ocurre en la zona reportada por Molina *et al.* [45] lo que conduce a un rompimiento y eventual pérdida de la cobertura de costras [14], así como un impacto en la estructura y función del ecosistema [46].

La especie de costra biológica del suelo que presentó mayor cobertura para la región fue *Endocarpon pussillum*, con el 58.5% de cobertura relativa, seguida de *Nostoc commune* con 23.3%. La abundancia

registrada de costras biológicas del suelo fue de 604,000 individuos/ha. Encontrándose como la más abundante *Nostoc commune* con 194,666 individuos/ha, seguida de *Endocarpon pussillum*, con 168,000 individuos/ha. En el estudio realizado por Jiménez [23], en un pastizal semiárido de San Luis Potosí, México, encontró que *Placynthiella uliginosa* y una capa delgada de hongos negros fueron los más abundantes, difiriendo de las especies más abundantes para nuestra área de estudio.

Las especies más frecuentes en la presente investigación fueron *Endocarpon pussillum*, seguida de *Placidium* sp. Asimismo, Rivera *et al.* [20] en su estudio en un área en suelos con alto contenido de carbonatos de calcio en Puebla, México, reportan la cianobacteria *Scytonema javanicum* como más común y el líquen *Placidium squamulosum*, de las cuales, el género *Placidium*, se ve representado en nuestra área de estudio.

La especie *Endocarpon pussillum* fue la que presentó el mayor índice de valor de importancia (IVI), con valores totales de peso ecológico en el área del 37.5%, seguida por *Nostoc commune* con 23.3%; siendo las especies más representativas (Tabla 2).

Tabla II. Indicadores ecológicos de las costras biológicas del suelo en el área de estudio.

Nombre científico	Dominancia (m ² /ha)		Abundancia (N/ha)		Frecuencia	IVI
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Rel.	
<i>Endocarpon pussillum</i>	868	58.47	168000.00	27.81	26.32	37.53
<i>Nostoc commune</i>	277	18.63	194666.67	32.23	19.30	23.39
<i>Placidium</i> sp.	140	9.43	125333.33	20.75	24.56	18.25
<i>Oxymitra</i> sp.	10	0.67	12000.00	1.99	3.51	2.06
<i>Placidium lacinulatum</i>	95	6.40	48000.00	7.95	14.91	9.75
<i>Psora decipiens</i>	60	4.04	34666.67	5.74	9.65	6.48
<i>Psora cerebriformes</i>	35	2.36	21333.33	3.53	1.75	2.55
Suma	1485	100	604000	100	100	100

Diversidad

La riqueza específica fue de 7 especies, con un valor del índice de Margalef (D_{Mg}) de 1.14. De acuerdo al índice de diversidad de Shannon & Weiner (H') la comunidad evaluada presentó un valor de 1.60. Estos valores son relativamente altos cuando se comparan con los registros de líquenes realizados por Pinzón & Linares [47] quienes reportaron valores de diversidad de Shannon & Weiner (H') de 0.74 en matorrales y de 0.72 en suelos desnudos de la región subxerofítica de La Herrera, Colombia. Sin embargo, resultados no muy distintos fueron obtenidos en la zona El Salado, parte norte del estado de San Luis Potosí, México por Molina *et al.*, [45] reportando valores de índice de Margalef (DMg) de 1.92 y de diversidad de Shannon & Weiner (H') de 1.44 en pastizales gipsófilos. La diversidad y abundancia de costras biológicas del suelo dominada por líquenes puede estar influenciada por las condiciones climáticas, principalmente por la distribución y la frecuencia de las lluvias [48] y por diferentes factores del suelo, particularmente por el contenido de arcilla y su pH [46].

II. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye que los pastizales halófitos estudiados presentan una cobertura de costras biológicas del suelo del 21.22%, y están compuestos por cuatro familias, cinco géneros y siete especies. Los líquenes fueron el tipo de costra

predominante con cinco géneros, seguidos de una cianobacteria y una hepática. Los géneros con mayor presencia fueron *Psora* y *Placidium* con dos especies cada uno; géneros que han sido reportados en otros trabajos como asociados a suelos con alto contenido de carbonato de calcio, como es el caso de los suelos en nuestra área de estudio. La costra biológica del suelo con mayor representatividad en la zona es *Endocarpom pussillum* con el 58.47% de dominancia relativa y el mayor Índice de Valor de Importancia (37.5%). La riqueza y diversidad de especies de costras biológicas del suelo para la zona se consideran altos.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación se realizó gracias al apoyo de 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 CBS al Dr. Claudio Delgado (UNAM), Biól. Violeta Chacón R. (FCF, UANL).

REFERENCIAS

- [1] SEMARNAT (2006). Atlas geográfico del medio ambiente y recursos naturales. Impreso en México, D.F. 75p.
- [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] Day, D.A., Ludeke, K.L. (1993). Plant Growth in Desert Environment. In: Clodsley-Thompson (Ed), *Plant Nutrients in Desert Environments* Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- [4] Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). (2000). Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Mendoza, A.D.O., Pando, M.M., González, R.H., Jurado, E. (2009). Effect of ground water on irrigated lands of northeastern Mexico. *International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology*, 2(3): 255-259.
- [8] 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.
- [9] Hawkes, C.V. (2003). Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del matorral de Florida. *Ecosistemas*, N°2.
- [10] Zhang, Y. (2005). The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. *Chinese Science Bulletin*, 50 (2): 117-121.
- [11] 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.
- [12] Mendoza-Aguilar, D. O., Cortina, J., & Pando-Moreno, M. (2014). Biological soil crust influence on germination and rooting of two key species in a *Stipa tenacissima* steppe. *Plant and Soil*, 375(1-2), 267-274.
- [13] Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, J., Eldridge, D. (2001). *Biological Soil Crusts: Ecology and Management*. 111p.

- [14] Eldridge, D.J., Leys, J.F. (2003). Explore some relationships between biological soil crusts, soil aggregation and wind erosion. *J. Arid Environ*, 53:457-466.
- [15] 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.
- [16] Chamizo, S., Cantón, Y., Lázaro, R., Solé-Benet, A., Domingo, F. (2012). Crust composition and disturbance drive infiltration through biological soil crusts in semiarid ecosystems. *Ecosystems*, 15:148-161.
- [17] 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 CO₂ exchange. *Functional Ecology*, 12:195-202.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Maier, S., Schmidt, T. S., Zheng, L., Peer, T., Wagner, V., & Grube, M. (2014). Analyses of dryland biological soil crusts highlight lichens as an important regulator of microbial communities. *Biodiversity and Conservation*, 1-21.
- [22] Rivera, A.V., Cacheux, I.M., Álvarez, H.G. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias*, 75:24-27.
- [23] 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. 47p.
- [24] 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.
- [25] Molina, G.V.M., Pando, M.M., Jurado, E., Cantú, S.I., Alanís, R.E. (2013). Costras biológicas del suelo en gipsófilos del noreste de México. *Ciencia UANL*, 63:89-97.
- [26] Pando-Moreno, M., Molina, V., Jurado, E., & Flores, J. (2014). Effect of biological soil crusts on the germination of three plant species under laboratory conditions. *Botanical Sciences*, 92(2).
- [27] Green, D. (1992). Rangeland assessment. In: *New South Wales Proceedings of the 7th Biennial Conference*, Australian Rangeland Society, Cobar, New South Wales. 267-268.
- [28] 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.
- [29] Reyna, G.L.N. (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. 48p.
- [30] Servicio Meteorológico Nacional (2000). Normales climatológicas 1971-2000. Estación Saltillo, Saltillo, Coahuila, México.
- [31] 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 del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos Revista de Ecología de Montaña*, 165:69-96.

- [32] Colwell, R.K. (2000) Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 6.0. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- [33] 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. 57p.
- [34] Eldridge, D.J., Rosentreter, R. (1999). Morphological groups: a framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *Journal of Arid Environments*, 41: 11-25.
- [35] Brodo, J.D., Sharnoff, S., Sharnoff, S. (2001). *Lichens of North America*. Yale University Press & New Haven and London. 795p.
- [36] Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing company. Oxford, UK. Pp. 106-121.
- [37] 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, Núm. 001:56-62.
- [38] Shannon, C. (1948). The mathematical theory of communication. In C. E. Shannon; W. Weaver (Ed). Univ. of Illinois Press; Pp. 134-154.
- [39] Bowker, M.A., Belnap, J., Davidson, D.W., Goldstein, H. (2006). Correlates of biological soil crust abundance across a continuum of spatial scales: support for a hierarchical conceptual model. *Journal of Applied Ecology*, 43, 152–163.
- [40] Timdal, E. (1986). A revision of *Psora* (Lecideaceae) in North America. *The Bryologist*, Vol. 89. Number. 4:253-275.
- [41] Yen, M.M.C. (2006). Cambios en cobertura y composición florística del pastizal halófilo en el estado de Nuevo León. (Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L.), Linares, N. L. 55p.
- [42] Nash III, T.H. (1976)a. Consortium of North American Lichen Herbaria. Arizona State University Lichen Herbarium. Taxon: *Placidium lacinulatum* (Ach.) Breuss. Disponible en: <http://lichenportal.org/portal/collections/individual/index.php?occid=47254&clid=0> [consulta 05 de septiembre de 2012].
- [43] Nash III, T.H. (1976)b. 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].
- [44] 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.
- [45] Molina, G.V., 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.
- [46] Eldridge, D.J., Freudenberger, D., Koen, T.B. (2006). Diversity and abundance of biological crust taxa in relation to fine and coarse-scale disturbances in a grassy eucalypt woodland in eastern Australia. *Plant and Soil*, 281:255-268.
- [47] 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.
- [48] Rogers, R.V. (1977). Soil surface lichens in arid and subarid south-eastern Australia. III. The relationship between distribution and environment. *Australian Journal of Botany*, 20: 301-316.