

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN ECOSISTEMAS  
DE PASTIZALES DEL ALTIPLANO  
DEL NORTE DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

M.C. VÍCTOR MANUEL MOLINA GUERRA

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

ENERO, 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN ECOSISTEMAS DE  
PASTIZALES DEL ALTIPLANO DEL NORTE DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

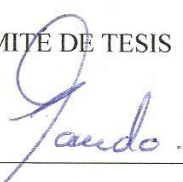
DOCTOR EN CIENCIAS


CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

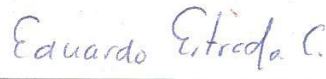
PRESENTA:


M.C. VÍCTOR MANUEL MOLINA GUERRA

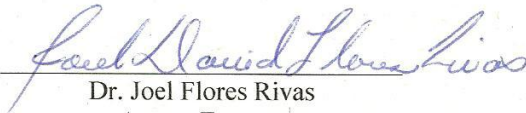
COMITÉ DE TESIS

  
Dra. Marisela Pando Moreno  
Directora de Tesis

  
Dr. Enrique Jurado Ybarra  
Asesor

  
Dr. A. Eduardo Estrada Castellón  
Asesor

  
Dr. Israel Cantú Silva  
Asesor

  
Dr. Joel Flores Rivas  
Asesor Externo

Linares, Nuevo León, México.

Enero, 2013

*Gracias.....*

*A Dios nuestro señor,  
por permitirme estar aquí.*

*A mí Madre Irma luchadora incansable, a papá Ambrocio, Hermana Felicitas, Hermano Baldo, Hermano Marcial.... Mí Hermosa Familia...*

*A la razón de mí vivir..... Mí Preciosidad... Victoria Odette.*

*La Luz de Mí Existencia....*

*A la vida, por dejarme estar en paz conmigo.*

## AGRADECIMIENTOS.

Gracias a dios, por permitir agradecer por tercera ocasión a grandes amigos que a través del tiempo he ido acumulando.

Dra. Marisela Pando, como catedrática, agradezco todo el tiempo invertido en mí y como persona es mayor mi agradecimiento, gracias por confiar en mí, gracias por presionar y por siempre apoyarme. Gracias por invertir ese tiempo de más.....

Dr. Enrique Jurado, gracias por palabras certeras, claras y concisas, en cada plática sostenida y por tú valiosa amistad.

Dr. Israel Cantú, agradezco su claridad y realismo en el proceso de la investigación y la vida.

Dr. Eduardo Estrada, gracias por las atenciones brindadas, comentarios, asesorías brindadas y sobre todo su amistad.

Dr. Joel Flores, agradezco las atenciones prestadas en el IPICYT, las pláticas impartidas de germinación y por tú amistad.

Para mí, es un gran honor y privilegio haber trabajado en ésta investigación con todos ustedes.... Mil Gracias.

A los proyectos PRACTICE (Grant 226818) y PAICYT (CT306-10), CONACYT, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). A los catedráticos de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, quienes han sido parte importante en mí formación académica.

Al Dr. Eduardo Alanís R., Dr. José Marmolejo, Biól. Violeta Chacón, Dr. Claudio Delgadillo y al Dr. Mario A. García, Srita Juany Castillo, por asesorías en los análisis, en la identificación de los ejemplares de costras biológicas del suelo, en la elaboración de mapas, por la obtención de artículos y por su amistad.

También agradezco a mis buenos amigos: Jaime Sánchez y Gisela Muro que estuvieron en el momento preciso, Regina Pérez, Brenda Sánchez Castro, Daniel Marín, Pablo Chávez, Brianda Soto, Miriam Garza, al Grupo del Departamento y amigos: Juana María, Mariana, Flor, Dinorah, Miguel, Sandra, Cira, Adriana, Joel Bravo, Manuel Soto, Alfredo, Soco y Tilo, al Cuerpo Académico Manejo de Recursos Naturales y Sustentabilidad. A mis amigos de la SEMARNAT, Delegación Federal de Nuevo León quienes siempre han estado al pendiente de este proceso.

A todos y cada uno de Ustedes que en cierta forma me han apoyado.

Mil Gracias....

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Doctor en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Donde se utiliza información de otros autores, otorgándose los créditos correspondientes.

Víctor Manuel Molina Guerra.

## CONTENIDO

	PÁGINA
CONTENIDO	i
CONTENIDO DE CUADROS	iii
CONTENIDO DE FIGURAS	iv
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPITULO 1	
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	5
1.1. SITUACIÓN GENERAL	5
1.2. HIPÓTESIS	8
1.3. OBJETIVOS	9
1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS	9
CAPITULO 2	
COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PASTIZALES DEL ALTIPLANO MEXICANO	13
RESUMEN	13
SUMMARY	14
INTRODUCCIÓN	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
CONCLUSIONES	23
LITERATURA CITADA	23
CAPITULO 3	
DIVERSIDAD DE COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PASTIZALES HALÓFITOS DEL NORTE DE MÉXICO	27
RESUMEN	27
ABSTRACT	28
INTRODUCCIÓN	28
METODOLOGÍA	31
RESULTADOS	35
CONCLUSIONES	39
AGRADECIMIENTOS	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

#### CAPITULO 4

COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PASTIZALES GIPSÓFILOS DEL NORESTE DE MÉXICO	47
INTRODUCCIÓN	47
MATERIALES Y MÉTODOS	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
CONCLUSIONES	55
RESUMEN	55
SUMMARY	56
AGRADECIMIENTOS	56
LITERATURA CITADA	57

#### CAPITULO 5

INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN UN ECOSISTEMA DE PASTIZAL EN EL ALTIPLANO DEL NORTE DE MÉXICO	65
RESUMEN	65
ABSTRACT	66
INTRODUCCIÓN	67
MATERIALES Y MÉTODOS	71
RESULTADOS	75
DISCUSIÓN	82
CONCLUSIONES	85
AGRADECIMIENTOS	85
LITERATURA CITADA	86

#### CAPITULO 6

EFFECT OF BIOLOGICAL SOIL CRUSTS ON THE GERMINATION OF THREE PLANT SPECIES UNDER LABORATORY CONDITIONS	97
ABSTRACT	97
INTRODUCTION	98
STUDY AREA	100
METHODS	101
RESULTS	103
DISCUSSION	106
CONCLUSIONS	109
ACKNOWLEDGMENTS	109
REFERENCES	109

#### CAPITULO 7

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES	116
CONCLUSIONES	122

**CONTENIDO DE CUADROS**

CUADRO		PÁGINA
	<b>CAPÍTULO 2</b>	
	Costras biológicas del suelo en Pastizales del Altiplano Mexicano.	
Cuadro 1	Registro de especies determinadas.	19
Cuadro 2	Índice de Valor de Importancia de las especies para la región de estudio.	22
	<b>CAPÍTULO 3</b>	
	Diversidad de costras biológicas del suelo en pastizales halófilos del norte de México.	
Cuadro 1	Especies de costras biológicas del suelo registradas.	35
Cuadro 2	Dominancia, Abundancia de las costras biológicas del suelo en el área de estudio.	38
Cuadro 3	Frecuencia e Índice de Valor de Importancia de las costras biológicas del suelo en el área de estudio.	38
	<b>CAPÍTULO 4</b>	
	Costras biológicas del suelo en pastizales gipsófilos del noreste de México.	
Cuadro 1	Familias, especies y tipos de costras biológicas del suelo identificadas en el área de estudio.	51
Cuadro 2	Dominancia, abundancia, frecuencia e Índice de Valor de Importancia de las costras biológicas del suelo en el área de estudio.	54
	<b>CAPÍTULO 5</b>	
	Influencia de factores ambientales en la distribución de las costras biológicas del suelo en un ecosistema de pastizal en el Altiplano del Norte de México.	
Cuadro 1	Distribución de costras biológicas del suelo en las zonas evaluadas.	75
Cuadro 2	Indicadores ecológicos de las zonas evaluadas.	78
Cuadro 3	Índices de diversidad para las zonas de estudio.	79
Cuadro 4	Resultados del Análisis de Redundancia entre la abundancia de cada especie de costra biológica y las variables ambientales.	80



	<b>CAPÍTULO 6</b>	
	Effect of biological soil crusts on the germination of three plant species under laboratory conditions.	
Table 1	Groups formed from the analysis of the interactions between substrates and seed species.	105

## CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
	<b>CAPÍTULO 2</b>	
	Costras biológicas del suelo en Pastizales del Altiplano Mexicano.	
Figura 1	Representatividad de cada Familia en porcentaje de CBS, dentro del sitio evaluado.	20
Figura 2	Porcentaje de cobertura vegetal y suelo desnudo, así como el número de CBS en los sitios evaluados.	21
	<b>CAPÍTULO 3</b>	
	Diversidad de costras biológicas del suelo en pastizales halófilos del norte de México.	
Figura 1	Localización de las áreas de estudio.	31
	<b>CAPÍTULO 4</b>	
	Costras biológicas del suelo en pastizales gipsófilos del noreste de México.	
Figura 1	Localización de las áreas de estudio.	50
	<b>CAPÍTULO 5</b>	
	Influencia de factores ambientales en la distribución de las costras biológicas del suelo en un ecosistema de pastizal en el Altiplano del Norte de México.	
Figura 1	Ubicación de los sitios de estudio.	73
Figura 2	Cobertura relativa de las costras biológicas del suelo por Zona (ZES=Zona El Salado, ZLS=Zona La Soledad y ZLI=Zona La India).	77
Figura 3	Gráfico resultante del análisis de redundancia (RDA).	80
	<b>CAPÍTULO 6</b>	
	Effect of biological soil crusts on the germination of three plant species under laboratory conditions.	
Figure 1	Average germination (n=5) for each plant species by substrate.	104
Figure 2	Combined average germination (n=15) for all plant species on each substrate.	104
Figure 3	Average germination rates (t50) for the two species together on each substrate.	106

## RESUMEN

Los pastizales de zonas semiáridas del noreste de México contienen muchas plantas y animales endémicos y son un importante refugio para animales residentes y migratorias. Aquí, como en muchas otras zonas semiáridas, las costras biológicas del suelo son un componente clave del ecosistema. Sin embargo, los hallazgos sobre su efecto sobre la germinación de las plantas vasculares están en contraste. En este estudio se determinó el efecto de siete costras biológicas del suelo dominantes (*Endocarpom pussillum*, *Nostoc commune*, *Oxymitra* sp., *Placidium* sp., *Psora cerebriforme*, *Psora decipiens* y *Xanthoparmelia chlorochroa*) de la zona en el porcentaje de germinación y velocidad de germinación de tres especies de plantas nativas: *Frankenia gypsophila*, *Muhlenbergia arenicola* y *Sartwellia mexicana*. Las pruebas de germinación se realizaron en una cámara climática a 26°C y a una humedad constante del 60% con 12 horas de luz por 12 horas de oscuridad. Las costras biológicas del suelo no afectaron el porcentaje de germinación de las tres especies vegetales evaluadas en comparación con el suelo desnudo. La tasa de germinación varió entre 3.5 y 5 días y no hubo diferencias entre los sustratos. Los resultados de esta investigación sugieren que, en condiciones de alta humedad del sustrato, las costras biológicas del suelo no tiene un efecto sobre la germinación de las plantas vasculares.

En esta tesis, también evalúe la diversidad de costras biológicas del suelo en 3 zonas con características edáficas diferentes, así como la relación de la abundancia de cada especie de costras con algunos factores ambientales (temperatura media, precipitación, altitud, cobertura vegetal, conductividad eléctrica, yeso, densidad

aparente, pH y carbonato de calcio) que pueden definir su presencia. El estudio se realizó en pastizales del Altiplano Mexicano, dentro de la Región Terrestre Prioritaria 80 “El Tokio” donde se presentan actividades antropogénicas que afectan la vegetación y los suelos. Se registraron siete especies de líquenes (*Endocarpon pussillum*, *Placidium* sp., *Placidium lacinulatum*, *Psora cerebriforme*, *Psora crenata*, *Psora decipiens* y *Xanthoparmelia chlorochroa*), una especie de cianobacterias (*Nostoc commune*) y una hepática (*Oxymitra* sp.). La especie de costra biológica del suelo que presentó mayor cobertura para la región fue *Endocarpon pussillum* con 57.55% de cobertura relativa, seguida de *Placidium* sp. con 20.62% y *Nostoc commune* con 7.94%. Los primeros dos componentes del análisis de redundancia explicaron el 92.3% de la varianza y el análisis permitió visualizar la asociación de cada especie de costra con las variables ambientales. El RDA indica que la presencia de yeso y carbonatos de calcio en el suelo fueron las variables que determinaron en mayor medida, la distribución de las costras biológicas del suelo.

## ABSTRACT

Semiarid grasslands in northeastern Mexico contain many endemic plants and animals and are an important refuge for resident and migratory animals. Here, as in many other semiarid areas, biological soil crusts are a key component of the ecosystem. However, findings about their effect on the germination of vascular plants are in contrast. In this study we determined the effect of seven dominant biological soil crusts (*Psora cerebriforme*, *Placidium* sp, *Endocarpon pussillum*, *Nostoc commune*, *Xanthoparmelia chlorochroa*, *Psora decipiens*, and *Oxymitra* sp.) from the area, on the germination percentage and germination rate of three native

plant species: *Frankenia gypsophila*, *Muhlenbergia arenicola*, and *Sartwellia mexicana*. Germination tests were carried out in an environmental chamber at 26°C and at constant 60% moisture with 12 by 12 hours light and darkness. Biological soil crusts did not affect germination percentage of the three evaluated plant species when compared to bare soil. Germination rate ranged between 3.5 and 5 days and there were no differences between substrates. Results from this research suggested that, with high soil moisture, biological soil crusts do not have an effect on germination of vascular plants.

In this thesis, I also assessed the diversity of biological soil crusts in three areas with different soil characteristics, and the relationship of the abundance of each species of crusts with some environmental factors (mean temperature, precipitation, altitude, vegetation cover, electric conductivity, gypsum, bulk density, pH and calcium carbonate) that can determine their presence. The study was conducted in Mexican Plateau grasslands within the Priority Terrestrial Region 80 "El Tokyo" where human activities are affecting vegetation and soil. There were seven species of lichens (*Endocarpon pussillum*, *Placidium* sp., *Placidium lacinulatum*, *Psora cerebriforme*, *Psora crenata*, *Psora decipiens* and *Xanthoparmelia chlorochroa*), a species of cyanobacteria (*Nostoc commune*) and liverwort (*Oxymitra* sp.). The species of biological soil crust that showed the highest cover was *Endocarpon pussillum* with 57.55% relative coverage, followed by *Placidium* sp. with 20.62% and *Nostoc commune* with 7.94%. The first two components of the redundancy analysis (RDA) explained 92.3% of the variance and the analysis allowed visualization of the association of each kind of crust with environmental variables.

The RDA indicated that the presence of gypsum and calcium carbonate in the soil were the main variables affecting the distribution of biological soil crusts.

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

#### 1.1. SITUACIÓN ACTUAL

En los últimos 50 años, la superficie cubierta con pastizales naturales en México ha disminuido rápidamente, debido principalmente, a desmontes para la agricultura, causando con ello una pérdida escalonada de funciones y rendimiento productivo. Así, los pastizales del noreste de México, históricamente han sido utilizados para agricultura desde 1950 (Treviño & Grant, 1998); lo que ha ocasionado la pérdida de los pastizales, tanto por la disminución de su superficie como por la eliminación de especies endémicas y la erradicación del perro de las praderas (*Cynomys mexicanus* Merriam.) en varias áreas de pastizales halófilos del noreste de México, estimándose una superficie actual de 400 km<sup>2</sup> (Estrada *et al.*, 2010).

El valor ecológico que se les ha brindado a los pastizales se ha encaminado mayormente a la producción de forraje para ganado doméstico o como tierras para la agricultura (Rzedowski, 1978). El deterioro que presentan los pastizales naturales en México es el resultado de una visión estrecha acerca de la utilidad y servicios que proporcionan estos ecosistemas, así como una incomprensión sobre las servidumbres ecológicas emanadas de ellos (Flores & Torres, 2000; Royo *et al.*, 2005), ocasionando su deterioro o pérdida de su vocación (Gauthier *et al.*, 2003).

En estos pastizales, existen organismos que pueden ayudar a disminuir los procesos de degradación del suelo; estos organismos, conocidos como costras

biológicas del suelo, se desarrollan en los primeros mm del suelo (Belnap *et al.*, 2001a; Quiñones *et al.*, 2009) y son considerados como los primeros colonizadores en la formación y/o recuperación de un suelo degradado (Brady *et al.*, 1999; Veste 2005).

Las costras biológicas del suelo son organismos vivos (Belnap & Gillette, 1997; Bowkera *et al.*, 2006) que se encuentran en un amplio rango de ecosistemas, desde los desiertos hasta las zonas polares (Belnap *et al.*, 2001a; Castillo *et al.*, 2011; Eldridge & Greene, 1994; Büdel *et al.*, 2009), desarrollándose de forma natural y preferentemente en los suelos desnudos (Jiménez, 2005; Toledo *et al.*, 2009).

Estos organismos, conformados por líquenes, algas, hongos, musgos, bacterias y cianobacterias (Belnap *et al.*, 2001a; Hawkes, 2003; López *et al.*, 2010; Zhang, 2005), logran alcanzar hasta un 70% de cobertura del suelo (Belnap & Lange, 2003), lo que contribuye a la estabilización del mismo (Zhao *et al.*, 2009). Mediante sus estructuras subterráneas logran anclarse (Frey & Kurschner 1991) y establecerse adecuadamente en la superficie del suelo (Belnap *et al.*, 2001a; Zhang, 2005), disminuyendo el riesgo de la erosión hídrica y eólica (Belnap *et al.*, 2001b; Lázaro *et al.*, 2008; Chamizo *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010), aún en sectores con evidencias de desertificación (Toledo *et al.*, 2009).

Como resultado de sus múltiples cualidades, se han desarrollado investigaciones en España, Estados Unidos, Israel, Australia, China, Chile y México generando información de las diferentes funciones de las costras biológicas del suelo (CBS) ligadas a la cubierta vegetal, composición, distribución, taxonomía, estado actual del ecosistema, fauna edáfica y su papel en los ciclos biogeoquímicos del agua, el

carbono y el nitrógeno (Pyke *et al.*, 2002; Maestre & Cortina, 2003, Belnap *et al.*, 2003, Belnap *et al.*, 2004; Cortina *et al.*, 2006; Langle 1998, Chen *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2011); de las propiedades hidráulicas como factor determinante del balance hidrológico, y de la organización estructural de minerales asociados a componentes biológicos que contribuyen en los procesos de infiltración y retención de agua dentro del suelo (Casenave & Valentin, 1989; Zaady *et al.*, 1997; Belnap *et al.*, 2001b; Rosentreter & Belnap, 2003; Montaña *et al.*, 1995; Reyes-Gómez *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2009; Quiñones *et al.*, 2009; Maestre *et al.*, 2011).

Otro aspecto relevante que se ha estudiado y que se aborda en la presente investigación, es la influencia de las costras biológicas del suelo en la germinación de especies vegetales. Aún cuando algunos autores consideran que las CBS propician un microambiente con condiciones de nutrientes y humedad notoriamente más favorables para la germinación (Belnap 2002; Belnap & Lange 2003; Rivera *et al.*, 2005; Su *et al.*, 2009) y para el establecimiento de algunas especies que las áreas desprovistas de CBS (DeFalco *et al.*, 2001; Belnap *et al.*, 2001c), otros estudios sugieren que las CBS inhiben la emergencia de las plántulas; por ejemplo, Escudero *et al.* (2007) y Serpe *et al.* (2008) demostraron que la CBS reduce la emergencia de plántulas cuando ésta está dominada por especies como *Diploschistes* sp. Prasse & Bornkamm (2000) observaron mayor efecto en la emergencia de plantas vasculares en el desierto de Negev cuando la CBS fue removida y/o destruida, resultados similares a los de Li *et al.* (2005) con dos especies de plantas anuales en el Desierto de Tengger, China.



Si bien a nivel mundial existe abundante literatura que analiza las características de las CBS (Prasse & Bornkamm, 2000; DeFalco *et al.*, 2001; Belnap *et al.*, 2001c; Belnap 2002; Belnap & Lange 2003; Li *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2005; Escudero *et al.*, 2007; Serpe *et al.*, 2008; Büdel *et al.*, 2009; Su *et al.*, 2009; Fang 2010; Zhang *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2011; Chamizo *et al.*, 2012), en México ésta es escasa (Maya & López 2002; Rivera *et al.*, 2004; Jiménez 2005; Rivera *et al.*, 2005; Heckman *et al.*, 2006; Quiñones *et al.*, 2009; Rivera *et al.*, 2009; López *et al.*, 2010) en especial, para los pastizales del norte de México, faltando desarrollar estudios de las CBS en éste y otros ecosistemas.

Es por lo anterior, que la presente investigación se realizó en pastizales naturales del noreste de México, los cuales cubren aproximadamente un 10% del territorio nacional (SEMARNAT, 2006), caracterizados por un clima extremo, escasa precipitación y baja productividad (Day & Ludeke, 1993). Esta investigación aporta nuevos conocimientos sobre las especies de costras biológicas del suelo presentes en la región, así como de la relación existente entre su presencia y factores bióticos y abióticos. Asimismo, se analiza la tasa y velocidad de germinación de especies vegetales nativas de estos pastizales utilizando costras biológicas como sustratos, objetivo clave para el establecimiento de programas de manejo, rehabilitación y restauración ecológica de los pastizales.

## **1.2. HIPÓTESIS**

- La composición de las costras biológicas difiere, dependiendo del sustrato edáfico sobre el que se desarrollan.

- Las costras biológicas promueven la germinación de las semillas de especies nativas de los pastizales.

### **1.3. OBJETIVOS**

- Identificar las costras biológicas presentes en los pastizales del altiplano del noreste de México.
- Determinar la relación existente entre los tipos de costras biológicas y las condiciones bióticas y abióticas donde se desarrollan.
- Evaluar el efecto de las costras biológicas del suelo en la germinación de semillas de tres especies vegetales nativas de estos ecosistemas bajo condiciones de laboratorio.

### **1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS**

La estructura de la tesis está constituida por una introducción general, manuscritos y artículos generados de la investigación, así como un capítulo con conclusiones generales. La literatura citada en la introducción será integrada en la sección final de la tesis y cada manuscrito y/o artículo contará con su literatura correspondiente.

Descripción breve de los diferentes capítulos que constituyen la tesis:

#### *Capítulo primero*

Introducción general.

### *Capítulo segundo*

Artículo titulado: “Costras biológicas del suelo del altiplano mexicano”.

Publicado en: Memorias del VIII Simposio Internacional sobre Flora Silvestre en Zonas Áridas, realizado en Gómez Palacio, Durango, del 28 al 30 de marzo del 2012. ISBN: 978-607-12-0247-5.

La investigación se realizó en los pastizales del Norte del estado de San Luis Potosí, en el Ejido El Salado, del municipio de Vanegas. Buscando conocer los parámetros ecológicos de dominancia (Dr), abundancia (Ar), frecuencia (Fr) y el índice de valor de importancia (IVI) de las costras biológicas identificadas para la zona, así como, los índices de diversidad de Shannon y de riqueza de Margalef.

### *Capítulo tercero*

Manuscrito titulado: Diversidad de costras biológicas del suelo en pastizales halófilos del norte de México. Sometido a la Revista ARGOS: Ciencia y Tecnología del Instituto Tecnológico de Saltillo.

La investigación se realizó en los pastizales halófilos del estado de Nuevo León y Coahuila, en los Ejidos Casitas del municipio de Galeana, N.L. y Artesillas y La India, del municipio de Arteaga, Coah. Evaluando los parámetros ecológicos de dominancia (Dr), abundancia (Ar), frecuencia (Fr) y el índice de valor de importancia (IVI) de las costras biológicas identificadas para la zona, así como, los índices de diversidad de Shannon y de riqueza de Margalef.

#### *Capítulo cuarto*

Manuscrito titulado: “Costras biológicas del suelo en pastizales gipsófilos del noreste de México”. Sometido a la Revista Ciencia UANL.

La investigación se realizó en los pastizales gypsófilos y halófilos del estado de Nuevo León, en los Ejidos La Hediondilla, El Erial y La Soledad, del municipio de Galeana. Evaluando los parámetros ecológicos de dominancia (Dr), abundancia (Ar), frecuencia (Fr) y el índice de valor de importancia (IVI) de las costras biológicas identificadas para la zona, así como, los índices de diversidad de Shannon y de riqueza de Margalef.

#### *Capítulo quinto*

Manuscrito titulado: “Influencia de factores ambientales en la distribución de las costras biológicas del suelo en un ecosistema de pastizal en el Altiplano del Norte de México”. Para someterse a la Revista Chilena de Historia Natural.

Se analiza la relación del clima, características edáficas y asociaciones vegetales con diferentes tipos de costras biológicas del suelo en los pastizales del altiplano mexicano. Se comparan también parámetros ecológicos de dominancia (Dr), abundancia (Ar), frecuencia (Fr), índice de valor de importancia (IVI) e índices de diversidad de las costras biológicas identificadas en las diferentes áreas.

### *Capítulo sexto*

Manuscrito titulado: “Effect of biological soil crusts in germination of three plant species under laboratory conditions”. Enviado a: Plant and Soil.

En este artículo se exponen los resultados de la evaluación del efecto de las costras biológicas del suelo en la germinación de semillas de tres especies vegetales nativas de estos ecosistemas bajo condiciones de laboratorio.

### *Capítulo séptimo*

Discusión y conclusiones generales de los estudios realizados.

## CAPÍTULO 2

### Costras biológicas del suelo en Pastizales del Altiplano Mexicano

Molina Guerra Víctor Manuel<sup>1</sup>, Pando Moreno Marisela, Estrada Castellón A. Eduardo E., Flores Rivas Joel, Chacón Ramos Violeta, Marmolejo Moncivais José G. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera a Cd. Victoria km. 145, Linares, Nuevo León, México. C.P. 67700.

<sup>1</sup>Correo electrónico: [ymmolinaguerra@hotmail.com](mailto:ymmolinaguerra@hotmail.com)

Publicado en: Memorias del VIII Simposio Internacional sobre Flora Silvestre en Zonas Áridas, realizado en Gómez Palacio, Durango, del 28 al 30 de marzo del 2012.

ISBN: 978-607-12-0247-5.

#### RESUMEN

En los pastizales mexicanos, existen organismos que pueden disminuir los procesos de degradación del suelo, conocidos como costras biológicas del suelo (CBS), constituidas por algas, cianobacterias, hongos, bacterias, musgos y líquenes. El presente trabajo contribuye con información referente a su identificación y presencia en ecosistemas de pastizales yesosos. Esta investigación se realizó en pastizales gipsófilos del estado de San Luis Potosí; México, en los sitios San Benito, Palos Altos y Estación Vanegas, municipio de Vanegas. En cada sitio, se establecieron 10 parcelas de 0.25m<sup>2</sup> para determinar presencia y porcentaje de cobertura de las CBS. Se identificaron 7 CBS, con una cobertura total de 9.37 %. Las especies dominantes fueron *Endocarpom pussillum*, con una dominancia relativa de 56.54%; *Placidium* sp. con 32.54% y *Oxymitra* sp. con 0.51%. La cobertura vegetal estimada para el área es 6.63 %, quedando 84% de suelo desnudo. En áreas donde la cobertura vegetal es

tan baja, la presencia de CBS puede ser un elemento clave en la conservación de los suelos. Puede considerarse que el ecosistema de pastizales para la zona del estudio, mostró alta diversidad (Shannon & Weiner ( $H'$ ) =1.44) y riqueza de CBS (Índice de Margalef (DMg) =1.92). Importante dirigir investigaciones relacionadas al papel ecológico que juegan las CBS en los pastizales áridos y semiáridos de México.

Palabras claves: Pastizales, costras biológicas del suelo, cobertura, diversidad.

## SUMMARY

In Mexican grasslands, there are organisms that can reduce soil degradation processes, known as biological crusts soil (BCS), consisting of algae, cyanobacteria, fungi, bacteria, mosses and lichens. This paper aims to contribute to the record and identification of BSC in gypsum grassland ecosystems. This research was carried out in gypsum grasslands of the state of San Luis Potosi, Mexico, within the sites San Benito, Palos Altos and Estación Vanegas, municipality of Vanegas. At each site, 10 plots (0.25m<sup>2</sup>) were established to determine presence and percentage cover of BSC. A total of 7 species were identified covering 9.37% of the area. Dominant species were *Endocarpom pussillum*, with a relative dominance of 56.54%; *Placidium* sp. with 32.54% and *Oxymitra* sp. with 0.51%. Vegetation cover of the area is 6.3%, leaving 84% of bare soil. Where vegetation cover is so low, presence of BSC can be a key element in preventing soil erosion. This grassland ecosystem showed high BSC diversity (Shannon & Weiner ( $H'$ )=1.44) and richness (Margalef Index (DMg)=1.92). It is important to continue studying the ecological role of BSC in the arid and semiarid grasslands of Mexico.

Keywords: Grassland, biological crusts soil, cover, diversity.

## **INTRODUCCIÓN**

Los pastizales naturales del norte de México cubren aproximadamente 10% del territorio nacional (SEMARNAT, 2006), caracterizados por un clima extremo, escasa precipitación y baja productividad, lo que resalta más el hecho de ser un refugio importante para especies de fauna residente y migratoria, además de presentar endemismos (Day et al., 1993). El deterioro que presentan los pastizales en México es el resultado de una visión estrecha acerca de la utilidad y servicios que proporcionan estos ecosistemas, así como una incomprensión sobre las servidumbres ecológicas emanadas de ellos. En estos pastizales, existen organismos que pueden disminuir los procesos de degradación del suelo, conocidos como costras biológicas del suelo (CBS), constituidas por algas, cianobacterias, hongos, bacterias y, ocasionalmente, por musgos y líquenes (Belnap et al., 1993; Hawkes, 2003; López et al., 2010). Éstas se encuentran en la superficie del suelo de las regiones de altas temperaturas, áridas y semiáridas (Belnap et al., 2001) e inmediatamente en los primeros milímetros de éste funcionando como ecosistemas y realizando numerosos servicios ecológicos clave (Quiñones et al., 2009). Las CBS pueden contribuir a la retención del suelo evitando su pérdida e incrementando su protección (Belnap et al., 1993; Langle et al., 1998; Castillo et al., 2011). En México, existen aún pocos estudios sobre la diversidad y los beneficios que proporcionan las costras biológicas a los ecosistemas donde se presentan (Rivera et al., 2004; Jiménez 2005; Rivera et al., 2005; López et al., 2010) y, aún más, sobre la superficie que éstas pudiesen ocupar, a diferencia de lo que ocurre en otros países, como Australia o Estados



Unidos en donde comenzaron a recabar este tipo de información a mediados de 1980's (Green 1992; Belnap et al., 2001). Las investigaciones sobre las costras biológicas se han dirigido principalmente hacia la determinación de su composición, distribución y taxonomía, así como hacia el papel que juegan las especies de cianobacterias como fijadores de nitrógeno (Langle 1998, Castillo et al., 2011). Es por lo anterior, que en la presente investigación se plantea conocer la diversidad de especies de costras biológicas del suelo, en un ecosistema con alto número de endemismos de flora y fauna y su valor de importancia dentro del ecosistema de pastizales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización del estudio se seleccionaron tres sitios: San Benito (324 239E; 2691 465), Palos Altos (319273E; 2 696356N) y Estación Vanegas (303538E; 2650974N) del municipio de Vanegas en la parte norte del estado de San Luis Potosí, México, a 1,730 metros de altitud promedio. Los tres sitios presentan vegetación tipo pastizal gipsófilo de porte bajo (Estrada et al., 2010) conformado por suelos yesosos (Reyna, 2007), una temperatura máxima normal anual de 26.5 °C y una temperatura mínima normal anual de 8.6 °C, alcanzando la máxima mensual en el mes de mayo con 38 °C y la mínima en enero con -1.3 °C; la precipitación normal anual es de 326.2 mm (Servicio Meteorológico Nacional). La vegetación se encuentra constituida principalmente por *Frankenia gypsophila* Johnst. (*Frankeniaceae*), *Muhlenbergia arenicola* Buckl. (*Poaceae*), *Sartwellia mexicana* A. Gray (*Asteraceae*), *Bouteloua chasei* Swall. (*Poaceae*), *Muhlenbergia villiflora* Hitchc. (*Poaceae*) y *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. (*Chenopodiaceae*).

En cada sitio, se establecieron 10 cuadrantes (Brotherson et al., 1983, Belnap et al., 2001) de 50X50 cm (Chamizo et al., 2010, Castillo et al., 2011) sobre una línea, con dirección S-N y otra E-O, separados 5 metros entre cuadrante, para determinar la presencia de las CBS. La cobertura se determinó con el apoyo de láminas comparativas utilizadas para estimar pedregosidad del suelo, manchas o nódulos, propuesta por Siebe et al. (1996). La identificación de las CBS in situ es problemática, por lo que en algunas investigaciones realizan los registros a nivel de grupos morfológicos (Eldridge-Rosentreter, 1999). Para solventar parcialmente dicha problemática, en este estudio, se realizaron colectas previas de las CBS del área, se identificaron con el apoyo de expertos, se fotografiaron y se creó un manual para identificación en campo, con lo cual se procedió a levantar la información en los cuadrantes.

Para evaluar el papel relativo de las especies de CBS en el ecosistema de pastizales se utilizaron los indicadores ecológicos de abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia (Magurran, 2004). Para la estimación de la abundancia relativa se empleó la siguiente ecuación:

$$A_i = N_i / S$$

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

$$i = 1 \dots n$$

donde AR<sub>i</sub> es la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, N<sub>i</sub> es el número de individuos de la especie i, y S la superficie de muestreo (ha). La dominancia relativa se evaluó mediante:

$$D_i = \frac{Ab_i}{S(\text{ha})}$$

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

$$i = 1 \dots n$$

donde DR<sub>i</sub> es la dominancia relativa de la especie *i* respecto a la dominancia total, Ab el área de copa de la especie *i* y S la superficie (ha). La frecuencia relativa se obtuvo con la siguiente ecuación:

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

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

$$i = 1 \dots n$$

donde FR<sub>i</sub> es la frecuencia relativa de la especie *i* respecto a la frecuencia total, P<sub>i</sub> 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:

$$IVI = AR_i + DR_i + FR_i$$

Para estimar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef (DMg) y para la diversidad de especies el índice de Shannon & Weiner (H') (1948) mediante las ecuaciones:

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

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

$$p_i = n_i / N$$

Donde S es el número de especies presentes, N es el número total de individuos y ni 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.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 4 familias, 5 géneros y 7 especies de líquenes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Registro de especies determinadas.

<b>Tipo</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Familia</b>
Liquen	<i>Endocarpon pussilum</i> (Hedwig)	Verrucariaceae
Liquen	<i>Oxymitra</i> sp.	Oxymitraceae
Liquen	<i>Psora decipiens</i> (Hedwig) Hoffm.	Psoraceae
Liquen	<i>Psora cerebriforme</i> (W.A. Weber)	Psoraceae
Liquen	<i>Placidium</i> sp.	Verrucariaceae
Liquen	<i>Xanthoparmelia chlorochloa</i> (Tuck.) Hale	Parmeliaceae
Liquen	<i>Placidium lacinulatum</i> (Ach.) Breuss	Verrucariaceae

Los géneros que presentaron en el área el mayor número de especies fueron *Psora* y *Placidium* con dos especies cada uno. Las familias con mayor representatividad en cuanto al número de especies fueron: Verrucariaceae con 42.85% (3 spp.), seguida de

Psoraceae con el 28.57% (2 spp.), mientras que Oxymitraceae y Parmeliaceae contribuyeron con el 14.28% cada una (1 sp.) (Fig. 1).

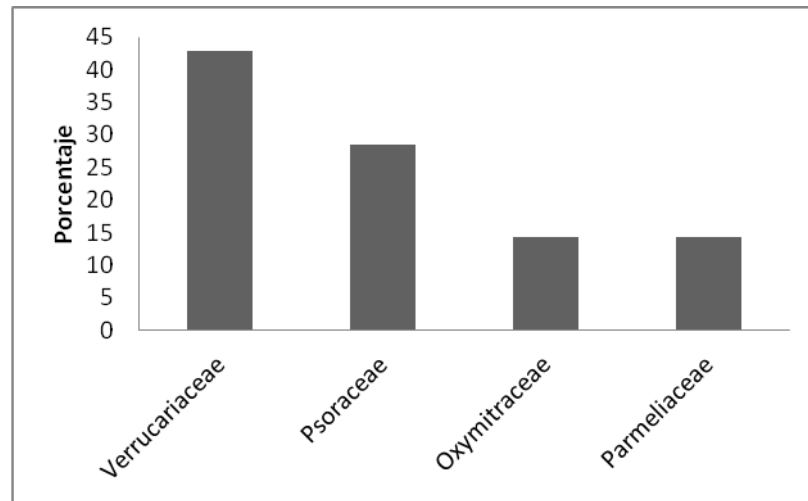


Fig. 1.- Representatividad de cada Familia en porcentaje de CBS, dentro del sitio evaluado.

En otro estudio realizado en pastizales del norte de San Luís Potosí, México, que originalmente presentaba bosque de pino, a una altitud de 2330 m, en un suelo con alto contenido de carbonatos, se identificaron seis tipos de CBS con diferentes morfologías, siendo éstas: *Acarospora schleicheri*, *Buellia* sp., *Disploschistes* sp., *Placynthiella uliginosa*, *Peltula michoacanensis* y una costra de hongos (Jiménez 2005). Aún cuando esta área de estudio se ubicó también en el norte del estado de San Luis Potosí, ninguna de las CBS reportadas coincide con las identificadas en el presente estudio, lo cual puede deberse a las diferencias en el tipo de suelo, la altitud, o la vegetación asociada.

### Indicadores ecológicos

La cobertura promedio de las CBS fue de 9.4% (d.e.  $\pm$  5.57) para los sitios en su conjunto, lo que representa una cobertura muy escasa cuando se compara con el porcentaje de cobertura de CBS reportadas por Lalley et al., (2005) para el desierto de Namibia, donde en suelos yesosos, semejantes a los de este estudio, registraron una cobertura del 72%. La cobertura de CBS en cada uno de los tres sitios evaluados fue: San Benito un 3.5%, Palos Altos 14.6% y Estación Vanegas 10%.

La cobertura vegetal estimada fue de 6.63% promedio (d.e.  $\pm$ 5.44) para la zona, siendo inferior a la cobertura de las CBS; la mayor superficie fue de suelo desnudo que ocupó el 84% (d.e.  $\pm$ 6.68) de la superficie.

En la Figura 2 se observan los porcentajes de cobertura vegetal (d.e. $\pm$ 5.4) y de suelo desnudo (d.e. $\pm$ 6.7) para cada sitio evaluado. Estación Vanegas fue el sitio con mayor cobertura vegetal y con el mayor número de especies de CBS; sin embargo en Palos Altos, que presenta la menor cobertura vegetal, se registró un mayor número de especies de costras biológicas (5) que en San Benito donde solamente se registró una especie.

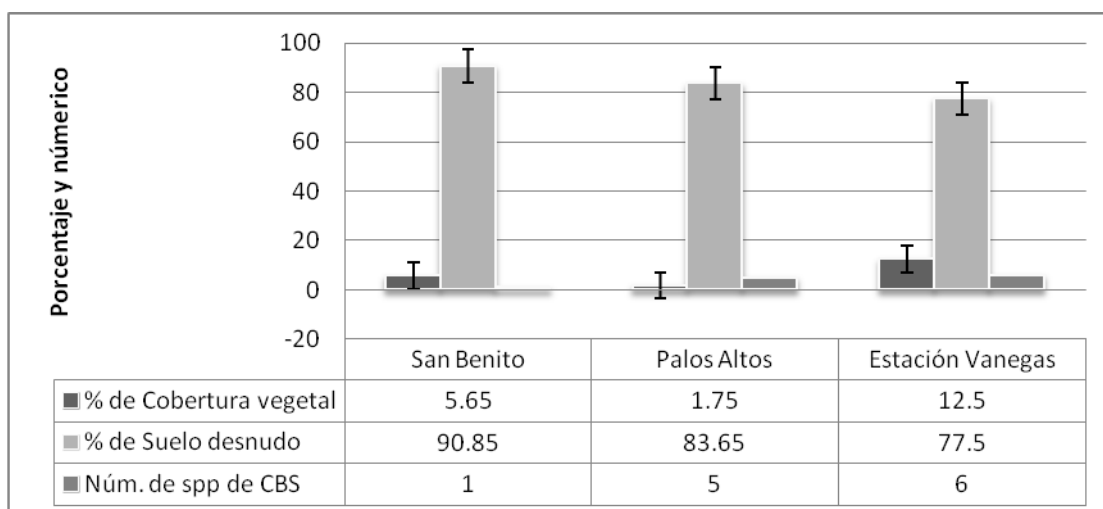


Fig. 2.- Porcentaje de cobertura vegetal y suelo desnudo, así como el número de CBS en los sitios evaluados.

La especie de CBS que presentó mayor cobertura para la región fue *Endocarpon pussillum*, con el 56.54% de cobertura relativa, seguida de *Placidium* sp con 32.54%. La abundancia de las CBS registrada fue de 382,666.67 individuos/ha. Encontrándose como la más abundante *Endocarpon pussillum*, con 144,000 individuos/ha, seguida de *Placidium* sp con 140,000 individuos/ha, siendo las más representativas para el ecosistema estudiado.

Aún y cuando hubo dos géneros que presentaron dos especies cada uno, 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 44%, seguida por *Placidium* sp., y *Xanthoparmelia chlorochloa* con un 30.25 y 8.37% de IVI respectivamente, siendo las especies más representativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índice de Valor de Importancia de las especies para la región de estudio.

Nombre científico	Dominancia (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )		Abundancia (N/ha)		Frecuencia	IVI
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Rel.	
<i>Endocarpon pussillum</i>	530	56.54	144,000.00	37.63	37.84	44.00
<i>Oxymitra</i> sp.	52	5.51	28,000.00	7.32	9.46	7.43
<i>Psora decipiens</i>	10	1.07	10,666.67	2.79	8.11	3.99
<i>Psora cerebriforme</i>	12	1.24	17,333.33	4.53	8.11	4.63
<i>Placidium</i> sp.	305	32.54	140,000.00	36.59	21.62	30.25
<i>Xanthoparmelia chlorochloa</i>	27	2.84	38,666.67	10.10	12.16	8.37
<i>Placidium lacinulatum</i>	2	0.25	4,000.00	1.05	2.70	1.33
<b>Suma</b>	<b>937</b>	<b>100.00</b>	<b>382,666.67</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

### *Diversidad*

La riqueza específica fue de 7 especies, con un valor del índice de Margalef (DMg) de 1.92. De acuerdo al índice de diversidad de Shannon & Weiner (H') la comunidad evaluada presentó un valor de 1.44. Estos valores son relativamente altos cuando se

comparan con los registros de líquenes realizados por Pinzón et al., (2006) quienes reportaron valores de diversidad de Shannon & Weiner ( $H'$ ) de 0.7429 en matorrales y de 0.7292 en suelos desnudos de la región subxerofítica de La Herrera, Colombia. La diversidad de CBS dominada por líquenes puede estar influenciada por las condiciones climáticas (Rogers 1977) principalmente por la distribución de lluvias y se encuentran ampliamente distribuidas en zonas áridas de EUA (West 1990) y México (Rivera et al., 2005), características similares a las de la zona de estudio.

## **CONCLUSIONES**

Las CBS presentan una mayor cobertura en el suelo, que la vegetación. La superficie evaluada está dominada principalmente por suelo desnudo. Los géneros con mayor presencia fueron *Psora* y *Placidium*. La CBS con mayor representatividad en la zona es *Endocarpom pussillum* con el 56.54% de cobertura relativa. La riqueza y diversidad de especies de CBS para la zona se consideran altos.

## **LITERATURA CITADA**

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.

Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, J., Eldridge, D. 2001. Biological Soil Crusts: Ecology and Management. 111p.



Brotherson, J.D., Rushforth, S.R., Johansen, J.R. 1983. Effects of long-term grazing on cryptogam crust cover in Navajo National Monument, Arizona. *Journal of Range Management* 36: 579-581.

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.

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.

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.

Eldridge, D.J., Rosentreter, R. 1999. Morphological groups: a framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *Journal of Arid Environments* 41: 11-25.

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.

Green, D. 1992. Rangeland assessment. In: New South Wales Proceedings of the 7th Biennial Conference, Australian Rangeland Society, Cobar, New South Wales. Pages 267-268.

Hawkes, C.V. 2003. Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del matorral de Florida. *Ecosistemas*. N°2.

Jiménez, A.A. 2005. Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. Tesis Maestría. IPICYT. San Luis Potosí, México. 47 p.

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.

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.

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.

Magurran, A. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing company. Oxford, UK. Pp. 106-121.

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.

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.

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, UANL. Linares, N.L. México. 48 p.

Rivera, A.V., Cacheux, I.M., Álvarez, H.G. 2004. Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias* 75:24-27.

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.

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.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Normales climatológicas 1971-2000. Estación El Salado, Vanegas, San Luís Potosí.

Shannon, C. 1948. The mathematical theory of communication. In C. E. Shannon; W. Weaver (Ed). Univ. of Illinois Press; Pp. 134-154.

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.

West, N.E. 1990. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Advances in Ecological Research* 20: 179-223.

## CAPÍTULO 3

### DIVERSIDAD DE COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PASTIZALES HALÓFITOS DEL NORTE DE MÉXICO

M.C. Víctor Manuel Molina Guerra <sup>1\*</sup>, Dra. Marisela Pando Moreno <sup>2\*</sup>,

Dr. José Gpe. Marmolejo Monsiváis <sup>3\*</sup>.

\*Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

<sup>1</sup>[ymmolinaguerra@gmail.com](mailto:ymmolinaguerra@gmail.com), <sup>2</sup>[marisela.pandomr@uanl.edu.mx](mailto:marisela.pandomr@uanl.edu.mx) (autor de correspondencia), <sup>3</sup>[jmarmole@gmail.com](mailto:jmarmole@gmail.com).

Área de participación: Ecología Ambiental.

Sometido a la Revista ARGOS: Ciencia y Tecnología del Instituto Tecnológico de  
Saltillo.

#### Resumen

Se presenta un análisis de la composición y diversidad de especies de costras biológicas del suelo identificadas en la parte norte de la Región Terrestre Prioritaria 80 “El Tokio”, en el noreste de México. Los suelos de este ecosistema de pastizal presentan alto contenido de carbonatos de calcio. Los líquenes fueron el tipo de costra predominante con tres géneros (*Psora*, *Placidium* y *Endocarpon*), 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 *Endocarpon pussillum*, con el 58.47% de dominancia relativa; *Nostoc commune* con 18.63% y *Placidium* sp. con 9.43%. *Endocarpon pussillum* presenta el mayor Índice

de Valor de Importancia con un peso ecológico de 37.5%. Consideramos que el ecosistema de la zona del estudio mostró alta diversidad (Shannon & Weiner ( $H'$ ) = 1.14) y riqueza de costras biológicas del suelo (Índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) = 1.6).

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

### Abstract

Here, we present an analysis of the composition and diversity of species of biological soil crusts identified in the Northern part of the Priority Terrestrial Region 80 “El Tokio”, in northeastern Mexico. Soils of this grassland ecosystem have high content of calcium carbonate. Lichens were the most common type of crust with 3 genera (*Psora*, *Placidium* and *Endocarpon*), followed by one cyanobacteria and one liverwort. Seven species of biological soil crusts were identified, exhibiting a 21.22% cover. Dominant species were *Endocarpon pussillum* with a relative dominance of 58.47%; *Nostoc commune* 18.63% and *Placidium* sp. with 9.43%. *Endocarpon pussillum* also had the highest Importance Value Index with an ecological weight of 37.5%. The studied ecosystem showed high diversity (Shannon & Weiner ( $H'$ ) = 1.14) and richness of biological soil crusts (Margalef Index ( $D_{Mg}$ ) = 1.6).

**Keywords:** Biological soil crusts, cover, diversity, grassland.

### Introducción

Los pastizales naturales de México cubren aproximadamente 10% del territorio nacional [SEMARNAT, 2006], caracterizados por un clima extremoso, 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 *Larrea tridentata*, *Zinnia acerosa*, *Sartwellia mexicana*, *Scleropogon brevifolius* y *Muhlenbergia arenicola* [Ceballos, G. E., Melink, E. & Hanebury, L. R., 1993; Day, D.A. & Ludeke, K.L., 1993; Arriaga, L., Espinoza, J.M, Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, E., 2000; Canales, D.J.C., Scott, M.L.M., Cotera, C.M. & Pando, M.M., 2007; Estrada, C.E., Scott, M.L., Villarreal, Q.J.A., Jurado, Y.E., Cotera C.M., Cantú A.C. & García, P.J., 2010].

Actualmente, los pastizales halófilos del norte de Nuevo León se utilizan para actividades agrícolas, como el cultivo de alfalfa y papa, lo cual ha ocasionado la desaparición de pastizales originales, modificando la composición de especies [Estrada *et al.*, 2010] y alterando algunas de las propiedades del suelo [Mendoza, A.D.O., Pando, M.M., González, R.H. & Jurado, E., 2009]. El deterioro que presentan los pastizales ubicados en la RTP-80 “El Tokio” es el resultado de una visión estrecha acerca de la utilidad y servicios que proporcionan estos ecosistemas, así como una incomprensión 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 [Belnap, J. & Gardner, J.S., 1993; Hawkes, 2003; Zhang, 2005]. 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 [Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R.,

Williams, J., Leonard, J. & Eldridge, D., 2001, Eldridge & Leys, 2003] funcionando como ecosistemas y realizando numerosos servicios ecológicos clave [Quiñones, V.J.J., Castellanos, P.E., Valencia, C.C.M., Martínez, R.J.J., Sánchez, O.T. & Montes, G.C.A., 2009; Chamizo, S., Cantón, Y., Lázaro, R., Solé-Benet, A. & Domingo, F., 2012]. Las costras biológicas del suelo pueden incrementar la protección del suelo y contribuir a una mayor retención de éste [Belnap *et al.*, 1993; Langle, O. L., Belnap J. & Reichenberger, H., 1998; Castillo *et al.*, 2011].

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 [Langle *et al.*, 1998; Rosentreter, R., Bowker, M. & Belnap, J., 2007; Rivera, A.V., Godínez, A.H., Moreno, T.R. & Rodríguez, Z.S., 2009; Castillo *et al.*, 2011].

En México, existe escaso conocimiento sobre las especies, diversidad y beneficios que proporcionan las costras biológicas a los ecosistemas donde se presentan [Rivera, A.V., Cacheux, I.M. & Álvarez, H.G., 2004; Jiménez, 2005; Rivera, A.V., Godínez, A.H., Manuell, C.I. & Rodríguez, Z.S., 2005; Rivera *et al.*, 2009; López, C.A., Maya Y. & García, M.J.Q., 2010] 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 [Green, 1992; Belnap *et al.*, 2001].

Este trabajo es pionero en presentar un análisis de la composición y diversidad de especies de costras biológicas del suelo presentes en la Región Terrestre Prioritaria 80 "El Tokio", como primer paso hacia la comprensión del papel que éstas juegan en los ecosistemas de pastizales halófitos de México.

## Metodología

Para la realización del 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, México (Figura 1); con rangos de 1,880 a 2,010 metros sobre el nivel del mar.

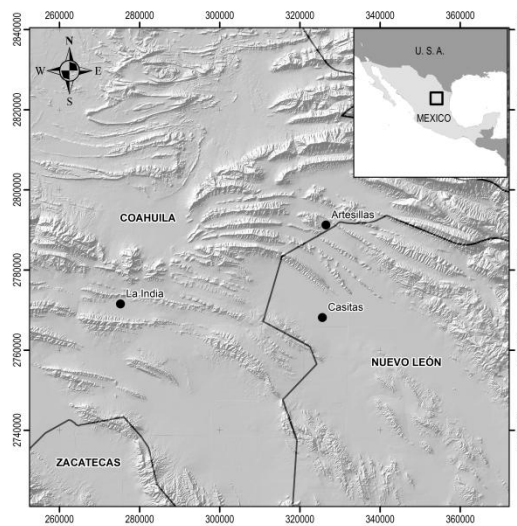


Figura 1. Localización de las áreas de estudio.

La vegetación presente es pastizal halófilo de porte bajo [Estrada *et al.*, 2010, Capó *et al.*, 2007], conformado por suelos con ausencia de yeso y alto contenido de carbonatos de calcio [Reyna, 2007], 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 369.3mm [SMN, 2000]. La vegetación se constituye principalmente de: *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.) Poaceae, *Scleropogon brevifolius* (Phil) Poaceae, *Zinnia acerosa* (DC.) A. Gary Asteraceae y *Ephedra* sp. Ephedraceae.



En cada sitio, en la primavera del 2011, se establecieron 10 cuadrantes de muestreo de 50x50cm [Chamizo *et al.*, 2010, Castillo *et al.*, 2011] 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 [Colwell, 2000]. La cobertura de las costras biológicas del suelo se determinó con el apoyo de láminas comparativas utilizadas para estimar pedregosidad del suelo, manchas o nódulos, propuesta por Siebe, C., Jahn, R. & Stahr, K. [1996]. 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 [Eldridge & Rosentreter, 1999]. 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, J.D., Sharnoff, S. & Sharnoff, S. [2001] y de Rosentreter *et al.* [2007], se fotografiaron y se creó un manual para identificación en campo, con lo cual se procedió a levantar la información en los cuadrantes.

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 [Magurran, 2004; Alanís, R.E., Jiménez P.J., Aguirre, C.O., Treviño, G.E., Jurado, Y.E. & González T.M., 2008]. Para la estimación de la abundancia relativa (1) se empleó la siguiente ecuación:

(1)

$$A_i = N_i / S$$

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

$$i = 1 \dots n$$

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:

(2)

$$D_i = \frac{Ab_i}{S(ha)}$$

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

$$i = 1 \dots n$$

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:

(3)

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

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

$$i = 1 \dots n$$

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):

(4)

$$IVI = AR_i + DR_i + FR_i/3$$

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 ( $H'$ ) (1948) mediante las ecuaciones (5,6):

(5)

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

(6)

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

$$p_i = n_i/N$$

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.

## Resultados

Se identificaron cuatro familias, cinco géneros y siete especies de costras biológicas del suelo (Cuadro 1).

<b>Tipo</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Familia</b>
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> (Vaucher ex Bornet & Flahault)	Nostocaceae

Cuadro 1. Especies de costras biológicas del suelo registradas.

El tipo de costra biológica del suelo que predominó en el área de estudio fueron los líquenes con tres 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.* [2009], en nueve unidades ambientales ubicadas en el Valle de Zapotitlán, Puebla, México, en suelos con alto contenido de carbonatos de calcio y materia orgánica, encontraron 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.

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 [Bowker *et al.*, 2006]. 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.* [2009], en un estudio realizado en el Valle de Zapotitlán, Puebla, México, encontró los géneros *Nostoc*, *Placidium*, *Psora* y *Endocarpon*, 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* [Timdal, 1986; Yen, 2006] y *Placidium lacinulatum* 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 de nuestra área de estudio [Nash III, 1976<sup>a,b</sup>]. Sin embargo, en otro estudio realizado en pastizales del norte de San Luís Potosí, México, que originalmente presentaba bosque de pino, 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 [Jiménez, 2005]. Aún 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.

### **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 [2005] para suelos yesosos del desierto de Namibia, donde registraron una cobertura del 72% o con la reportada por Belnap [1993] quien menciona que en las zonas áridas y semiáridas del mundo alcanzan a cubrir del 40 al 70% de la superficie. Sin embargo, Molina, G.V.M., Pando, M.M., Estrada, C.A.E., Flores, R.J., Chacón, R.V. & Marmolejo, M.J.G. [2012], 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 [op. cit.] lo que conduce a un rompimiento y eventual pérdida de la cobertura de costras [Eldridge & Leys, 2003], así como un impacto en la estructura y función del ecosistema [Eldridge, D.J., Freudenberger, D. & Koen, T.B., 2006].

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 [2005], 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.* [2009] 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 de los líquenes *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 (Cuadros 2 y 3).

Nombre científico	Dominancia (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )		Abundancia (N/ha)	
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.
<i>Endocarpon pussillum</i>	868	58.47	168000.00	27.81
<i>Nostoc commune</i>	277	18.63	194666.67	32.23
<i>Placidium</i> sp.	140	9.43	125333.33	20.75
<i>Oxymitra</i> sp.	10	0.67	12000.00	1.99
<i>Placidium lacinulatum</i>	95	6.40	48000.00	7.95
<i>Psora decipiens</i>	60	4.04	34666.67	5.74
<i>Psora cerebriformes</i>	35	2.36	21333.33	3.53
<b>Suma</b>	<b>1485</b>	<b>100.00</b>	<b>604000.00</b>	<b>100.00</b>

Cuadro 2. Dominancia, Abundancia de las costras biológicas del suelo en el área de estudio.

Nombre científico	Frecuencia Relativa	IVI
<i>Endocarpon pussillum</i>	26.32	37.53
<i>Nostoc commune</i>	19.30	23.39
<i>Placidium</i> sp.	24.56	18.25
<i>Oxymitra</i> sp.	3.51	2.06
<i>Placidium lacinulatum</i>	14.91	9.75
<i>Psora decipiens</i>	9.65	6.48
<i>Psora cerebriformes</i>	1.75	2.55
<b>Suma</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Cuadro 3. Frecuencia e Índice de Valor de Importancia de las costras biológicas del suelo en el área de estudio.

### **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 [2006] quienes reportaron valores de diversidad de Shannon & Weiner ( $H'$ ) de 0.7429 en matorrales y de 0.7292 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.* [2012] reportando valores de índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) 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 [Rogers, 1977] y por diferentes factores del suelo, particularmente por el contenido de arcilla y su pH [Eldridge *et al.*, 2006].

### **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%, correspondientes a cuatro familias, cinco géneros y siete especies de costras biológicas. Los líquenes fueron el tipo de costra predominante con tres 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 *Endocarpon 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.

### **Agradecimientos**

Esta investigación se realizó gracias al apoyo del proyecto PRACTICE y al CONACYT. Agradecimientos especiales por su apoyo en revisiones de los ejemplares de CBS al Dr. Claudio Delgadillo (UNAM), Biól. Violeta Chacón R. (FCF, UANL) y al Dr. Eduardo Alanís R. (FCF, UANL) por su apoyo en análisis de información.

### **Referencias bibliográficas**

1. 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.
2. 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.
3. Belnap, J. (1993). Recovery rates of cryptobiotic crusts: inoculants use and assessment methods. *Great Basin Nat*, 53:89-95.

4. Belnap, J., Gardner, J.S. (1993). Soils microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatu*. *Great Basin Naturalist*, 53:40-47.
5. Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, J., Eldridge, D. (2001). Biological Soil Crusts: Ecology and Management. 111p.
6. 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.
7. Brodo, J.D., Sharnoff, S., Sharnoff, S. (2001). Lichens of North America. Yale University Press & New Haven and London. 795p.
8. 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.
9. Capó, 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.
10. 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.
11. 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.

12. 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.
13. 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.
14. Colwell, R.K. (2000) Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 6.0. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
15. 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.
16. Eldridge, D.J., Rosentreter, R. (1999). Morphological groups: a framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *Journal of Arid Environments*, 41: 11-25.
17. Eldridge, D.J., Leys, J.F. (2003). Explore some relationships between biological soil crusts, soil aggregation and wind erosion. *Journal of Arid Environments*, 53:457-466.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Hawkes, C.V. (2003). Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del matorral de Florida. *Ecosistemas*, N°2.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing company. Oxford, UK. Pp. 106-121.
27. 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.

28. 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.
29. Nash III, T.H. (1976)<sup>a</sup>. 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].
30. Nash III, T.H. (1976)<sup>b</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].
31. 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.
32. 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*, 27(4):287-293.
33. 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.

34. Rivera, A.V., Cacheux, I.M., Álvarez, H.G. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias*, 75:24-27.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. SEMARNAT (2006). *Atlas geográfico del medio ambiente y recursos naturales*. Impreso en México, D.F. 75p.
40. Servicio Meteorológico Nacional (2000). *Normales climatológicas 1971-2000*. Estación Saltillo, Saltillo, Coahuila, México.
41. Shannon, C. (1948). The mathematical theory of communication. In C. E. Shannon; W. Weaver (Ed). Univ. of Illinois Press; Pp. 134-154.
42. 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.

43. Timdal, E. (1986). A revision of *Psora* (Lecideaceae) in North America. *The Bryologist*, 89(4):253-275.
44. 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.
45. Zhang, Y. (2005). The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. *Chinese Science Bulletin*, 50 (2): 117-121.

## CAPÍTULO 4

### Costras biológicas del suelo en pastizales gipsófilos del noreste de México

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

Autor de correspondencia: Dra. Marisela Pando Moreno, email:

marisela.pandomr@uanl.edu.mx

Sometido a la Revista Ciencia UANL.

Los pastizales halófilos del noreste de México se caracterizan por presentar un clima extremo, 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 1255 km<sup>2</sup> a una actual de 369.4 km<sup>2</sup>, debido principalmente al cambio de uso del suelo para el establecimiento de área agrícolas,<sup>5</sup> causando con ello una pérdida escalonada de funciones y rendimiento productivo del suelo.<sup>6</sup> Las extensivas y severas modificaciones que han sufrido estos ecosistemas han ocasionando su deterioro o pérdida de potencial productivo.



En estos pastizales es común la presencia de costras biológicas del suelo, las cuales pueden ayudar a disminuir procesos de degradación del suelo. Estos organismos están constituidos por algas, cianobacterias, hongos, musgos, líquenes y bacterias<sup>7-9</sup> y 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 evitando su pérdida e incrementando su protección,<sup>7,11,12</sup> sirviendo 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 pueden estar presentes 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 existen 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 evaluar la composición 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, estado de Nuevo León, con rangos altitudinales de 1850 a 1890 msnm. El área de estudio presenta una temperatura media normal anual de 15.8°C 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 un 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* (Hitc.) 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 del año 2011, se establecieron 10 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 5 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.*, (1996).

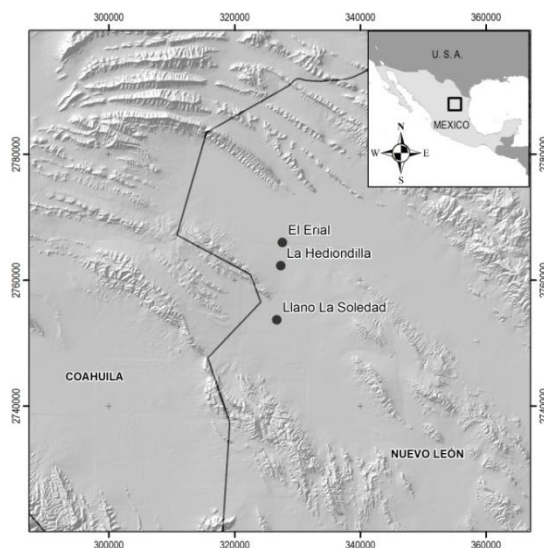


Figura 1. Localización de las áreas de estudio.

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 U.A.N.L., 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 dominan en el área de estudio están formadas mayoritariamente por líquenes, con 4 géneros y 6 especies. Se registró también la presencia de una hepática

y una cianobacteria. En total se registraron cinco familias, seis géneros y 8 especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Familias, especies y tipos de costras biológicas del suelo identificadas en el área de estudio.

<b>Tipo</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Familia</b>
	<i>Endocarpon pussillum pussillum</i>	
Liquen	(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 el 37.5% (3 especies), seguida de Verrucariaceae con 25% (2 géneros) y las tres restantes contribuyen con el 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 gypsófilos, 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 Luís Potosí, México, reportan *Acarospora schleicheri*,

*Buellia* sp., *Disposchistes* 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 *Chroococidiopsis* 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* ha sido reportada 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 el 72% encontrado en suelos yesíferos del desierto de Namibia<sup>42</sup> o la cifra general de regiones áridas y semi áridas del mundo que es del 40 al 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 4 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 del 5 hasta el 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 sobre pastoreadas.<sup>47</sup>

La especie de costra biológica del suelo que presentó mayor cobertura para la región fue *Endocarpon pussillum*, con el 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 (Cuadro 2).

Las costras biológicas del suelo más frecuentes, dentro del área de estudio, fueron: *Endocarpon pussillum* con el 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 (Cuadro 2).

Cuadro 2. 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>

### **Diversidad**

La riqueza específica de costras biológicas del suelo para el área estudiada fue de 8 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 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> y 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 4 sitios del Desierto de Sonora con suelos áridos hipotérmicos y utilizando 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 8 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 es 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 el 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 8 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 claves:** *Endocarpon*, suelos yesosos, costra biológica del suelo, cobertura, diversidad.

## SUMMARY

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 crusts 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: Dr. Claudio Delgadillo (UNAM), Dr. José Guadalupe Marmolejo M. (FCF, UANL) y Biól. Violeta Chacón R. (FCF, UANL).

## LITERATURA CITADA

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.Quñones,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. Büdel, B., Darienko, T., Deutschewitz, K., Dojani, S., Friedl, T., Mohr, K.I., Salisch, Reisser, W., Weber, B. 2009. Southern African biological soil crusts are ubiquitous 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 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 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 semiarid 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, Ogden, 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.

## CAPÍTULO 5

### **Influencia de factores ambientales en la distribución de las costras biológicas del suelo en un ecosistema de pastizal en el Altiplano del Norte de México**

Influence of environmental factors on the distribution of biological soil crusts in a grassland ecosystem in the highlands of northern Mexico

VÍCTOR M. MOLINA-GUERRA<sup>1</sup>, MARISELA PANDO-MORENO<sup>1,\*</sup>,  
EDUARDO ESTRADA CASTILLÓN<sup>1</sup>, ENRIQUE JURADO<sup>1</sup>, ISRAEL CANTÚ  
SILVA<sup>1</sup>, EDUARDO ALANÍS R. <sup>1</sup> & JOEL FLORES RIVAS<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León,

<sup>2</sup>Instituto Potosino de Ciencia y Tecnología

\*Autor de correspondencia: marisela.pandomr@uanl.edu.mx

### **RESUMEN**

Se evaluó la diversidad de costras biológicas del suelo en 3 zonas con características edáficas diferentes, así como la relación de la abundancia de cada especie de costras con algunos factores ambientales que pueden definir su presencia. El estudio se realizó en pastizales del Altiplano Mexicano, dentro de la Región Terrestre Prioritaria 80 “El Tokio” donde se presentan actividades antropogénicas que afectan la vegetación y los suelos. Se registraron líquenes (siete especies), cianobacterias (una especie) y hepáticas (una especie). La especie de costra biológica del suelo que presentó mayor cobertura para la región fue *Endocarpon pussillum* con el 57.55% de cobertura relativa, seguida de *Placidium* sp. con 20.62% y *Nostoc commune* con 7.94%. Los primeros dos componentes del análisis de redundancia explicaron el 92.3% de la varianza y el análisis permitió visualizar la asociación de cada especie de

costra con las variables ambientales. La presencia de yeso y carbonatos de calcio en el suelo fueron las variables que determinaron, en mayor medida, la distribución de las costras biológicas del suelo.

**Palabras claves:** cobertura del suelo, diversidad, *Endocarpon*, líquenes, parámetros ecológicos.

### ABSTRACT

We assessed the diversity of biological soil crusts in three areas with different edaphic characteristics. The relationship between abundance of BSC species and some environmental factors that can define the presence of these crusts was also evaluated. The study was conducted in grasslands of the Northern Mexican Plateau within the Priority Terrestrial Region 80 "The Tokyo" where human activities are affecting the vegetation and soils. Lichens were recorded (seven species), cyanobacteria (one species) and liverwort (one species). The species of biological soil crust showing the highest coverage for the region was *Endocarpon pussillum* with 57.55% relative cover, followed by *Placidium* sp. with 20.62% and *Nostoc commune* with 7.94%. Redundancy analysis of the first two components explained 92.3% of the variance and the analysis allowed visualization of the association of each species of crust with environmental variables. The presence of gypsum and calcium carbonate into the soil were the variables that mainly determined the distribution of the biological soil crusts.

**Keywords:** diversity, ecological parameters, *Endocarpon*, lichens, soil cover.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años, la superficie cubierta con pastizales naturales en México ha disminuido rápidamente debido, principalmente, a los cambios de uso del suelo para la agricultura, causando con ello una pérdida escalonada de funciones y rendimiento productivo. Así, los pastizales del noreste de México han sido utilizados para agricultura desde 1950 (Treviño & Grant 1998); lo que ha ocasionado tanto la disminución de su superficie, como la eliminación de especies endémicas y la erradicación del perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus* Merriam.) en varias áreas de los pastizales halófilos del noreste de México, estimándose una superficie actual de 369.40 km<sup>2</sup> (Estrada et al. 2010).

El valor ecológico que se les ha brindado a los pastizales se ha encaminado mayormente a la producción de forraje para ganado doméstico o como tierras para la agricultura (Rzedowski 1978). El deterioro que presentan los pastizales naturales en México es el resultado de una visión estrecha acerca de la utilidad y servicios que proporcionan estos ecosistemas, así como una incomprensión sobre las servidumbres ecológicas emanadas de ellos (Flores & Torres 2000; Royo et al. 2005), ocasionando su deterioro o pérdida de su vocación.

En estos pastizales existen organismos que pueden ayudar a disminuir los procesos de degradación del suelo; estos organismos, conocidos como costras biológicas del suelo, se desarrollan en los primeros milímetros del suelo (Belnap et al. 2003; Quiñones et al. 2009) y son considerados como los primeros colonizadores en la formación y/o recuperación de un suelo degradado (Brady et al. 1999; Vesté 2005).

Las costras biológicas del suelo son organismos vivos (Belnap & Gillette 1997; Bowker et al. 2006b) que se encuentran en un amplio rango de ecosistemas,

desde los desiertos hasta las zonas polares (Belnap et al. 2003; Castillo et al. 2011; Eldridge & Greene 1994; Büdel et al. 2009), desarrollándose de forma natural y preferentemente en los suelos desnudos (Jiménez 2005; Toledo et al. 2009).

Estos organismos, conformados por líquenes, algas, hongos, musgos, bacterias y cianobacterias (Belnap et al. 2003; Hawkes 2003; López et al. 2010; Zhang 2005), logran alcanzar hasta un 70% de cobertura del suelo (Belnap & Lange 2003), lo que contribuye a la estabilización del mismo (Zhao et al. 2009). Mediante sus estructuras subterráneas logran anclarse (Frey & Kurschner 1991) y establecerse adecuadamente en la superficie del suelo (Belnap et al. 2003; Zhang 2005), disminuyendo el riesgo de la erosión hídrica y eólica (Belnap 2001; Lázaro et al. 2008; Chamizo et al. 2010; Zhang et al. 2010), aún en sectores con evidencias de desertificación (Toledo et al. 2009).

A fin de comprender el rol que estos organismos juegan en el ecosistema, se han desarrollado investigaciones en España, Estados Unidos, Israel, Australia, China, Chile y México generando información de las diferentes funciones de las costras biológicas del suelo ligadas a la cubierta vegetal, composición, distribución, taxonomía, estado actual del ecosistema, fauna edáfica y su papel en los ciclos biogeoquímicos del agua, carbono y nitrógeno (Pyke et al. 2002; Maestre & Cortina 2003, Belnap et al. 2003, Belnap et al. 2004; Cortina et al. 2006; Langle et al. 1998, Chen et al. 2005; Zhang et al. 2010; Castillo et al. 2011); de las propiedades hidráulicas como factor determinante del balance hidrológico y de la organización estructural de minerales asociados a componentes biológicos que contribuyen en los procesos de infiltración y retención de agua dentro del suelo (Casenave & Valentin 1989; Zaddy et al. 1997; Belnap 2001; Rosentreter & Belnap 2003; Montaña et al.

1995; Reyes-Gómez et al. 2007; Zhao et al. 2009; Quiñones et al. 2009; Maestre et al. 2011).

Otros estudios se han enfocado en la influencia de las costras biológicas del suelo en la germinación de especies vegetales. Algunos autores consideran que las costras biológicas del suelo propician un microambiente con condiciones de nutrientes y humedad notoriamente más favorables para la germinación (Belnap 2002; Belnap & Lange 2003; Rivera et al. 2005; Su et al. 2009) y para el establecimiento de algunas especies que las áreas desprovistas de costras biológicas del suelo (DeFalco et al. 2001; Belnap et al. 2001). Resultados de otras investigaciones sugieren que las costras biológicas del suelo inhiben la emergencia de las plántulas; por ejemplo, Escudero et al. (2007) y Serpe et al. (2008) demostraron que la costra biológica del suelo reduce la emergencia de plántulas cuando ésta está dominada por especies como *Diploschistes* sp. Prasse & Bornkamm (2000) observaron mayor efecto en la emergencia de plantas vasculares en el desierto de Negev cuando la costra biológica del suelo fue removida y/o destruida, resultados similares a los de Li et al. (2005) con dos especies de plantas anuales en el Desierto de Tengger, China.

Si bien a nivel mundial existe abundante literatura que analiza las características de las costras biológicas del suelo (Prasse & Bornkamm 2000; DeFalco et al. 2001; Belnap et al. 2001; Belnap 2002; Belnap & Lange 2003; Li et al. 2005; Chen et al. 2005; Escudero et al. 2007; Serpe et al. 2008; Büdel et al. 2009; Su et al. 2009; Fang 2010; Zhang et al. 2010; Castillo et al. 2011; Chamizo et al. 2012), en México ésta es escasa (Maya & López 2002; Rivera et al. 2004; Jiménez 2005; Rivera et al. 2005; Heckman et al. 2006; Quiñones et al. 2009; Rivera et al. 2009; López et al. 2010) particularmente para los pastizales del norte de México.

En diversos ecosistemas del mundo, varios investigadores han relacionado la presencia, abundancia, distribución y composición de las costras biológicas del suelo con variables climáticas como la precipitación anual, temperatura máxima y su proximidad al aire marítimo (Rogers 1972; Nash & Moser 1982), así como con a la densidad aparente del suelo, pH, conductividad eléctrica (Ponzetti & McCune 2001) y la exposición al sol (Rivera et al. 2009). Otros, han encontrado que la presencia de estos organismos se ve fuertemente afectada por el medio físico y químico del suelo (Ponzetti & McCune 2001; Bowker et al. 2005, Bowker et al. 2008). Algunos autores, han sido más específicos al mencionar por ejemplo que los géneros *Placydium*, *Endocarpom* y *Psora* se encuentran comúnmente asociados al carbonato de calcio y a pH alcalinos (Bowker et al. 2006; Rivera et al. 2009), por su parte Bowker et al. (2008), encontraron como un fuerte indicador la presencia de *Psora decipiens* en suelos con yeso, así como de *Lecanora gypsicola*, *Didymodon nevadensis*, *Diploschistes diacapsis*, *Squamarina lentigera*, *Acarospora nodulosa* ssp. *nodulosa*, como excelentes indicadores de su presencia en dichos suelos a *Catapyrenium spec.* y *Fulgensia bracteata*.

Es por lo anterior, que la presente investigación realizada en pastizales naturales del noreste de México, busca aportar nuevos conocimientos sobre las especies de costras biológicas del suelo presentes en estos ecosistemas, así como su relación con los factores bióticos y abióticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Descripción del área de estudio*

La colecta de las costras biológicas del suelo se realizó dentro del polígono de la Región Terrestre Prioritaria 80 “El Tokio” ubicada en las coordenadas extremas 23°36′43″ a 25°13′51″ N y 100°02′56″ a 101°17′28″ O, con rangos altitudinales de 1,800 a 2,000 msnm en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas, México (Arriaga et al. 2000). La temperatura media anual de la región es 17.16 °C, con una mínima de -1.8 °C en el mes de enero y un máximo de 35.06 °C en mayo. La precipitación media anual es de 386.43 mm, el mes de marzo es el más seco (8.43 mm) y agosto es el más húmedo (58.06 mm) (SMN, 2000<sup>abc</sup>). Los suelos de la zona de estudio presentan tres condiciones esenciales diferentes: los suelos de la parte norte de la región presentan alto contenido de carbonatos de calcio y no tienen yeso, los de la parte central, se caracterizan por presentar yeso y carbonatos de calcio; y los de la parte sur, en el estado de San Luis Potosí, tienen alto contenido de yeso sin carbonatos de calcio (Reyna 2007).

Todas las áreas aquí evaluadas presentan actividad de pastoreo, principalmente por ganado bovino, caballar y en algunas zonas por caprinos, si bien la intensidad de pastoreo difiere entre las áreas.

La vegetación está constituida por comunidades de tipo pastizal halófilo / gipsófilo asociado con matorral desértico micrófilo y rosetófilo (Scott et al. 2004, Estrada et al. 2010). Las principales familias vegetales en estos ecosistemas son: Poaceae, Chenopodiaceae y Frankeniaceae (Rzedowski 1978), con especies como *Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.) Frankeniaceae, *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.) Poaceae, *Sartwellia mexicana* (A. Gray) Asteraceae, *Bouteloua chasei* (Swall.) Poaceae, *Muhlenbergia villiflora* (Hitc.) Poaceae, *Atriplex canescens*



(Pursh) Nutt., Chenopodiaceae, *Scleropogon brevifolius* (Phil) Poaceae y *Bouteloua dactyloides* (Nutt.) J.T. Columbus Poaceae (Estrada et al. 2010), y la fauna silvestre por el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*), tlalcoyote (*Taxidea taxus*), zorra del desierto (*Vulpes velox*), águila real (*Aquila chrysaetos*), lechuza llanera (*Athene cunicularia*), gorrión de Worthen (*Spizella wortheni*), víbora de cascabel (*Crotalus scutulatus*) (Ceballos et al. 1993, Arriaga et al. 2000, Canales et al. 2007).

Para su evaluación, la región de estudio se estratificó en tres zonas, en función de sus características edáficas y, en cada zona, se seleccionaron tres sitios representativos. Los sitios de la zona 1, llamada El Salado, fueron: Palos Altos (319273E; 2696356N), San Benito (324239E; 2691465N) y Estación Vanegas (303538E; 2650974N) cuyos suelos tienen alto contenido de yeso y muy bajo o nulo contenido de carbonatos de calcio. En la zona 2, La Soledad, se seleccionaron: El Llano La Soledad (326765E; 2753726N), La Hediondilla (327382E; 2762336N) y El Erial (327619E; 2766023N) donde se presentan suelos con yeso y carbonatos de calcio. La tercer zona, llamada La India estuvo representada por los sitios: Casitas (325628E; 2768167N), Artesillas (326474E; 2789463N) y La India (275240E; 2771547N) y tiene suelos con ausencia de yeso y alto contenido de carbonatos de calcio (Figura 1).

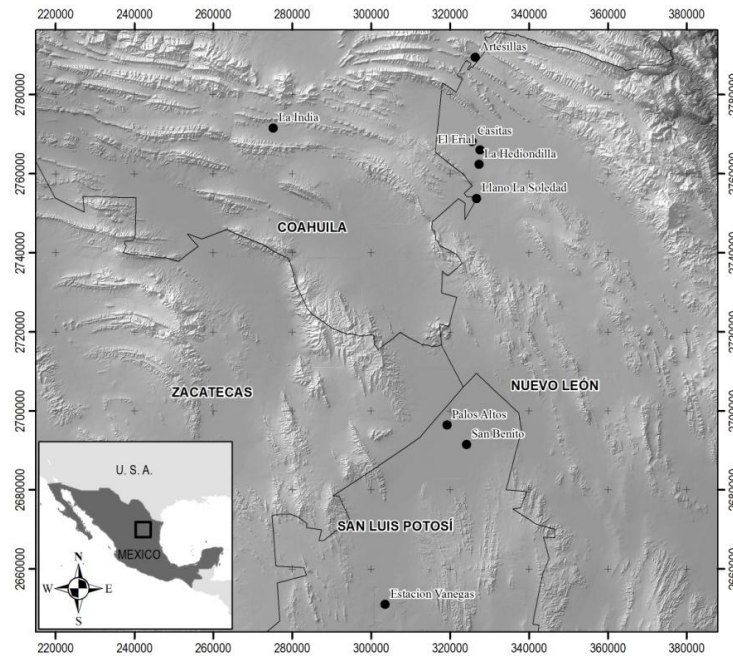


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio.

#### *Evaluación de costras biológicas del suelo y vegetación*

Las parcelas de muestreo de las costras biológicas del suelo y de la cobertura vegetal fueron de forma cuadrangular de 50x50cm (Brotherson et al. 1983, Belnap et al. 2001, Chamizo et al. 2010, Castillo et al. 2011), evaluándose 10 parcelas en cada sitio durante la primavera del 2011, dando un total de 90 parcelas de muestreo. El tamaño de muestra se determinó a través de la curva de acumulación de especies (Colwell 2000). Los cuadrantes se establecieron sobre una línea, con dirección N-S y otra E-O, separados 5 metros entre cuadrante. En cada cuadrante se realizó un censo de las costras biológicas del suelo y se evaluó la superficie de suelo desnudo. La cobertura, tanto de costras biológicas del suelo como de suelo desnudo, se determinó con el apoyo de láminas comparativas propuesta por Siebe et al. (1996). La identificación de las costras biológicas del suelo *in situ* es problemática, por lo que en algunas investigaciones realizan los registros a nivel de grupos morfológicos

(Eldridge & Rosentreter 1999). Para solventar parcialmente dicha problemática, en este estudio, se realizaron colectas previas de las costras biológicas del suelo del área, identificándose con las guías de Brodo et al. (2001) y de Rosentreter et al. (2007) en el Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L. Posteriormente, se fotografiaron elaborándose un manual para identificación en campo, con lo cual se procedió a levantar la información en los cuadrantes.

Para diferenciar las zonas de estudio en relación al sustrato edáfico se evaluó, para cada sitio: la textura del suelo al tacto, materia orgánica mediante el método de combustión húmeda y titulación según Walkley-Black (Woerner 1989), pH, conductividad eléctrica (Rhoades 1982), contenido de sulfato de calcio (yeso), carbonatos de calcio y densidad aparente (Blake & Hartge 1986), a una profundidad de 0-30 cm.

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 (Magurran 2004; Alanís et al. 2008). La riqueza de especies se estimó mediante el índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) y para la diversidad de especies el de Shannon & Weiner ( $H'$ ) (1948).

La relación existente entre los líquenes, la hepática, la cianobacteria y las características físicas y químicas del suelo, así como con la temperatura y precipitación se realizó a través de una prueba de redundancia (RDA) dentro del paquete estadístico CANOCO 4.5. El análisis de redundancia ordena a las especies en función de las variables explicativas, maximizando las diferencias en sus respuestas. El modelo final consta de dos ejes ortogonales que, del primero al último, explican porcentajes decrecientes de la varianza total de la abundancia de las

especies. Estos ejes son combinaciones lineales de las variables explicativas consideradas (Filloy y Bellocq 2007). Se construyeron dos matrices, una con 90 sitios donde se consideró la abundancia de las costras biológicas del suelo y la segunda con las características del suelo (pH, DA, CaCO<sub>3</sub>, MO, yeso, CE) y datos ambientales (temperatura promedio, precipitación, altitud, cobertura de vegetación).

## RESULTADOS

Las costras biológicas del suelo, encontradas en las 3 grandes zonas de estudio, consisten de siete especies de líquenes, una hepática y una cianobacteria. El género con mayor presencia fue *Psora* con tres especies, *Placidium* con dos y el resto de los géneros tuvieron una especie (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de costras biológicas del suelo en las zonas evaluadas.

Presencia (+), Ausencia (-). (ZES=Zona El Salado, ZLS=Zona La Soledad y ZLI=Zona La India).

Tipo	Nombre científico	Alto contenido de yeso sin carbonatos de calcio (ZES)	Yeso y carbonatos de calcio (ZLS)	Alto contenido de carbonatos de calcio sin yeso (ZLI)
Cianobacteria	<i>Nostoc commune</i>	-	+	+
Hepática	<i>Oxymitra</i> sp.	+	+	+
Liquen	<i>Endocarpon pussillum</i>	+	+	+
Liquen	<i>Placidium lacinulatum</i>	+	-	+
Liquen	<i>Placidium</i> sp.	+	+	+
Liquen	<i>Psora cerebriformes</i>	+	+	+
Liquen	<i>Psora crenata</i>	-	+	-
Liquen	<i>Psora decipiens</i>	+	+	+
Liquen	<i>Xanthoparmelia chlorochroa</i>	+	+	-

El área de estudio presenta una extensa superficie de suelo desnudo y una cobertura promedio de costras biológicas del suelo de 16.23%. La cobertura de éstas y de suelo desnudo varía entre las tres zonas evaluadas, siendo la zona La India la que presentó mayor cobertura de costras biológicas en el suelo. En la zona El Salado las costras del suelo cubrieron el 9.37% de la superficie total muestreada y el 84% fue suelo desnudo; en la zona La Soledad las costras biológicas del suelo cubrieron el 18.1% y el 63.74% correspondió a suelo desnudo y en la zona La India, las costras biológicas del suelo cubrieron el 21.22% de la superficie y el suelo desnudo cubrió el 65.05%.

En general, el grupo de los líquenes, representó el 88.90% de la cobertura de costras biológicas del suelo. Los líquenes tuvieron el mayor número de géneros (4) y de especies (7); con una distribución diversa ya que este grupo se encontró en los tres tipos de suelos evaluados (Cuadro 1). Se registró solo una hepática (*Oxymitra* sp.) y una cianobacteria (*Nostoc commune*).

La mayor parte de las especies de costras biológicas del suelo registradas compartieron los tres ambientes edáficos de la región; las excepciones fueron: *Nostoc commune* que no se presentó en la zona con alto contenido de yeso, *Xanthoparmelia chlorochroa* que no se encontró en la zona con alto contenido de carbonatos de calcio, *Psora crenata* que se presentó solo en el área que contiene tanto yeso como carbonato y *Placidium lacinulatum* que no se encontró en esta última zona.

### ***Indicadores ecológicos***

En la zona El Salado con suelos con alto contenido de yeso sin carbonatos de calcio, se identificaron 7 especies de costras biológicas del suelo que cubren el 9.4% de la superficie evaluada. *Endocarpum pussillum* (56.54%) y *Placidium* sp.

(32.54%), fueron las especies con mayor cobertura, ambas pertenecen al grupo de los líquenes. En la zona La Soledad, donde los suelos contienen yeso y carbonatos de calcio, se encontraron 8 tipos de costras biológicas del suelo que cubren el 18.1% de la superficie evaluada. Al igual que en la zona El Salado, en la Soledad, las especies que presentaron mayor cobertura fueron *Endocarpum pussillum* (57.65%) y *Placidium* sp. (19.91%). La Zona identificada como La India, presenta suelos con alto contenido de carbonatos de calcio sin yeso, en esa zona se identificaron 7 especies de costras biológicas del suelo que cubren el 21.22% de la superficie evaluada. Las especies con mayor cobertura fueron *Endocarpum pussillum* (58.47%) y *Nostoc commune* (18.63%) (Cuadro 1 y Figura 2).

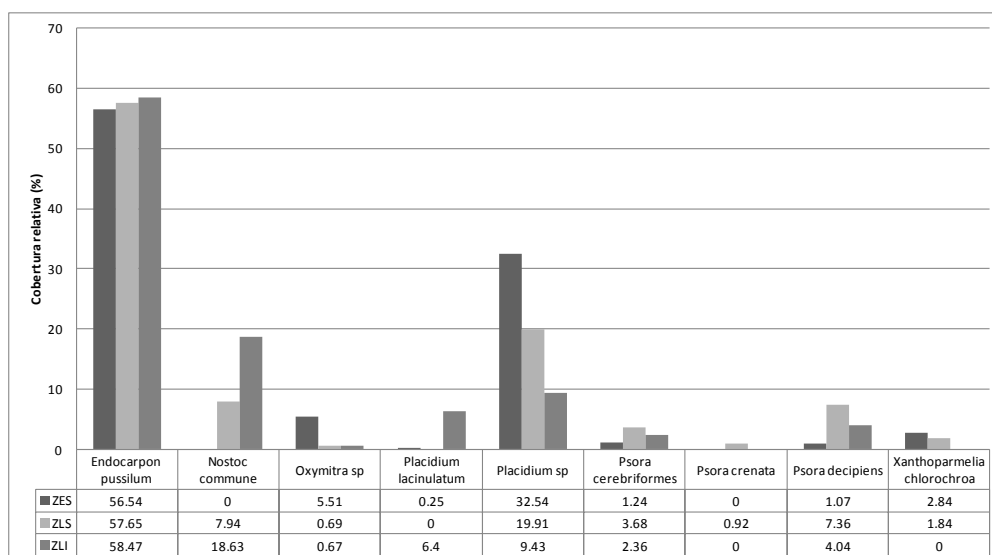


Figura 2.- Cobertura relativa de las costras biológicas del suelo por Zona (ZES=Zona El Salado, ZLS=Zona La Soledad y ZLI=Zona La India).

Las especies con mayor cobertura, en promedio para las tres zonas, fueron *Endocarpum pussillum* (57.55%) y *Placidium* sp. (20.62%), seguidas de *Nostoc commune* (8.85%); aún cuando esta última especie no se encontró en la zona El

Salado. El resto de las costras biológicas, presentaron en promedio una cobertura relativa menor del 4.15%.

La costra biológica del suelo más abundante fue *Endocarpon pussillum*, excepto en la zona con ausencia de yeso y alto contenido de carbonato de calcio, donde *Nostoc commune* fue la más abundante. Sin embargo, en las tres zonas estudiadas la especie *Endocarpon pussillum* fue la que presentó el mayor índice de valor de importancia, debido a la alta frecuencia con que se encontró esta especie (Cuadro 2).

Cuadro 2. Indicadores ecológicos de las zonas evaluadas.  $D_r$ =dominancia relativa;

$A_r$ =abundancia relativa;  $F_r$ =frecuencia relativa e  $IVI$ =índice de valor de importancia.

Nombre científico	ZES				ZLS				ZLI			
	$D_r$	$A_r$	$F_r$	$IVI$	$D_r$	$A_r$	$F_r$	$IVI$	$D_r$	$A_r$	$F_r$	$IVI$
<i>Endocarpon pussillum</i>	56.54	37.63	37.84	44	57.65	37.96	30.43	42.02	58.47	27.81	26.32	37.53
<i>Nostoc commune</i>	0	0	0	0	7.94	16.36	16.3	13.53	18.63	32.23	19.3	23.39
<i>Oxymitra</i> sp.	5.51	7.32	9.46	7.43	0.69	0.93	2.17	1.26	0.67	1.99	3.51	2.06
<i>Psora cerebriformes</i>	1.24	4.53	8.11	4.63	3.68	4.01	9.78	5.83	2.36	3.53	1.75	2.55
<i>Psora crenata</i>	0	0	0	0	0.92	1.23	4.35	2.17	0	0	0	0
<i>Psora decipiens</i>	1.07	2.79	8.11	3.99	7.36	7.41	6.52	7.1	4.04	5.74	9.65	6.48
<i>Placidium lacinulatum</i>	0.25	1.05	2.7	1.33	0	0	0	0	6.4	7.95	14.91	9.75
<i>Placidium</i> sp.	32.54	36.59	21.62	30.25	19.91	30.25	28.26	26.14	9.43	20.75	24.56	18.25
<i>Xanthoparmelia chlorochloa</i>	2.84	10.1	12.16	8.37	1.84	1.85	2.17	1.96	0	0	0	0
<b>Suma</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\*ZES: Zona El Salado; ZLS: Zona La Soledad; ZLI: Zona La India.

### **Diversidad**

La riqueza de costras biológicas del suelo para las zonas de estudio se muestra en el Cuadro 3, observándose, que la zona con mayor número de especies de costras

biológicas del suelo (8) fue La Soledad, la cual presenta suelos con yeso y carbonatos de calcio. Para la zona de estudio en su conjunto la riqueza específica es de 9.

Cuadro 3. Índices de diversidad para las zonas de estudio.

Índice	Zona El Salado	Zona La Soledad	Zona La India
Riqueza específica (s)	7	8	7
Margalef (DMg)	1.92	1.2	1.6
Shannon & Weiner (H')	1.44	1.68	1.14

\*(ZES=Zona El Salado con suelos con alto contenido de yeso sin carbonatos de calcio, ZLS=Zona La Soledad con suelos con presencia de yeso y carbonatos de calcio y ZLI=Zona La India con suelos con alto contenido de carbonatos de calcio sin yeso).

En promedio, la Zona de estudio con vegetación tipo pastizal no tuvo gran diferencia en diversidad  $H'$  ( $1.42 \pm 0.27$ d.e.) ni en la riqueza de especies DMg ( $1.57 \pm 0.36$ d.e.) entre los sitios. La zona donde se presentó la mayor diversidad fue La Soledad (1.68); y la de mayor riqueza de especies fue en El Salado (1.92).

Los resultados del análisis de redundancia permitieron visualizar la relación existente entre la abundancia de las costras biológicas y las variables ambientales simultáneamente (10), y se realizó utilizando el programa Canoco 4.5.



Cuadro 4. Resultados del Análisis de Redundancia entre la abundancia de cada especie de costra biológica y las variables ambientales.

Ejes	1	2	3	4	Varianza total
Eigenvalues	0.283	0.068	0.024	0.003	1.00
Relación entre costras biológicas del suelo y variables ambientales	74.4	92.3	98.5	99.3	
Suma de todos los eigenvalues					1.000

Los resultados de dicho análisis se presentan en el Cuadro 4, donde el primer y segundo componente explican el 74.4% y 92.3% de la varianza respectivamente, procediendo a graficarlo para analizar la relación existente entre las variables ambientales y las costras biológicas del suelo.

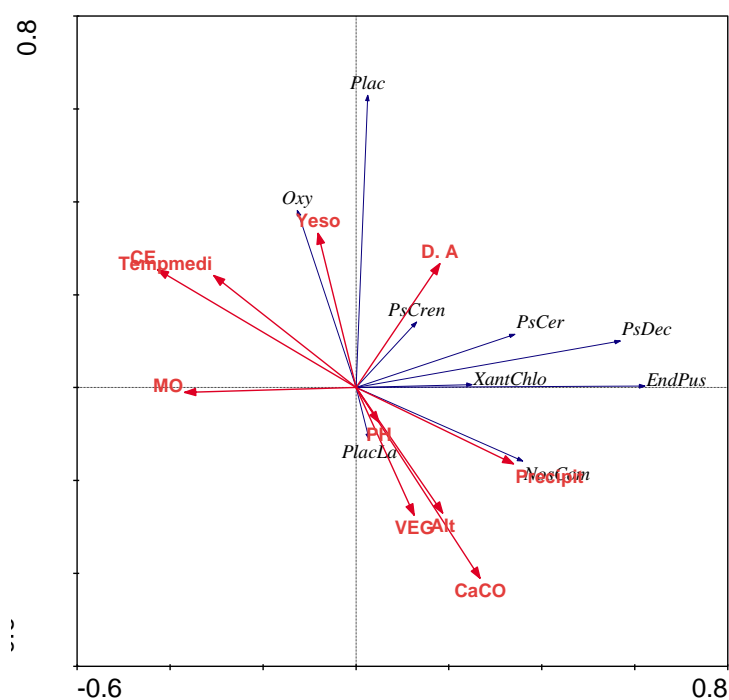


Figura 3. Gráfico resultante del análisis de redundancia (RDA).

(Línea azul: Oxy=*Oxymitra* sp.; PsCren=*Psora crenata*; PsCer=*Psora cerebriformes*; PsDec=*Psora decipiens*; XantChlo=*Xanthoparmelia chlorochloa*; EndPus=*Endocarpum pussillum*; NosCom=*Nostoc commune*; PlacLa=*Placidium lacinulatum*; Plac= *Placidium* sp. Línea roja: CE=Conductividad eléctrica; Tempmedi=Temperatura media; Yeso=Yeso; D.A.=Densidad aparente; PH=pH; VEG=Cobertura vegetal; Alt=Altitud; CaCO=Carbonato de calcio; Precipit=Precipitación).

El diagrama resultante del análisis de redundancia muestra cómo los dos ejes principales quedan definidos por la presencia de carbonatos de calcio y yeso, concentrándose el mayor número de especies de costras biológicas del suelo en los sitios con presencia de yeso. Las excepciones son *Nostoc commune* y *Placidium lacinulatum*, las cuales se encuentran asociadas a sitios con altas concentraciones de carbonatos de calcio, mayor cobertura vegetal y mayores precipitaciones, en contraposición a los sitios que tienen alto contenido de yeso.

La presencia de *Endocarpum pussillum* en el 95.55% de los sitios con características edáficas y climáticas distintas, se manifiesta en la ubicación de ésta en el diagrama sobre el eje de las X, en forma paralela a éste, lo que indica que dicha especie no tiene preferencia hacia alguna de las variables ambientales registradas en este estudio. De manera semejante fue la ubicación de *Xanthoparmelia chlorochloa* en el diagrama, aunque en el caso de esta especie se debió a que en una de las zonas no se presentó y en las otras dos tuvo valores de abundancia tan bajos que no muestra una asociación clara con alguna variable ambiental.

*Oxymitra* sp. y *Placidium* sp., muestran asociación con los suelos con yeso lo cual concuerda con la zona donde tuvieron notoriamente mayor abundancia que fue en El Salado.

Las tres especies del género *Psora* (*P. crenata*, *P. decipiens* y *P. cerebriformes*) registraron la mayor abundancia en la zona La Soledad, que tiene suelos con contenidos medios de yeso y carbonatos de calcio y, en el diagrama, se

encuentran ubicadas en un área intermedia la variable yeso y la variable carbonatos de calcio.

## DISCUSIÓN

Jiménez (2005) realizó un estudio en pastizales del norte de San Luís Potosí, México, que originalmente presentaba bosque de pino, a una altitud de 2330 m, donde identificó seis tipos de costras biológicas del suelo, siendo éstas: *Acarospora schleicheri*, *Buellia* sp., *Disploschistes* sp., *Placynthiella uliginosa*, *Peltula michoacanensis* y una costra de hongos. Aún y cuando el área de estudio se encuentra cerca a la de la presente investigación, ninguna de las costras biológicas del suelo reportadas por Jiménez (2005) coincide con las identificadas en este trabajo, lo cual podría deberse a las características del suelo, la altitud, o a la vegetación asociada. En comunidades vegetales de zonas áridas de Zapotitlán, México, las costras biológicas del suelo más comunes fueron las cianobacterias, siendo los individuos más conspicuos *Chroococcidiopsis* sp. y *Nostoc* sp. (Rivera et al., 2009), encontrándose éste último género en nuestra área de estudio.

En estudios previos realizados en la misma región de esta investigación, Timdal (1986) reportó la presencia de *Psora crenata* y Yen (2006) las de *Psora crenata* y *Xanthoparmelia chlorochroa*; especies reportadas en la presente investigación.

A su vez, Rivera et al. (2009) menciona que la presencia del género *placidium*, es característico de sitios con suelos que contienen carbonatos de calcio, observando su presencia, en algunos sitios de la presente investigación, principalmente en los sitios que contienen CaCO<sub>3</sub>.

### ***Indicadores ecológicos***

La cobertura promedio de las costras biológicas del suelo fue de 16.24% para las zonas en su conjunto. Este porcentaje de cobertura es muy escaso cuando se compara con el registrado por Lalley et al. (2005), quien registró una cobertura del 72% en suelos yesíferos en el desierto de Namibia. Por su parte Belnap (1994) reporta, para regiones áridas y semi áridas del mundo, una cobertura de costras biológicas del suelo del 40 al 70%, porcentajes superiores a los obtenidos para el área de estudio. Algunos investigadores reportan rangos muy amplios en el porcentaje de cobertura de las costras biológicas en el suelo, con valores que van del 5 hasta el 80% en ecosistemas de fynbos en Sudáfrica (Mager et al. 2012).

Eldridge & Leys (2003) simularon un pastoreo intensivo en Australia, obteniendo entre el 7.8 % y 1.5% de cobertura de costras biológicas del suelo; resultados que parecen indicar que el pastoreo, dependiendo de su intensidad, disminuirá la presencia de las costras biológicas. El efecto de las actividades pecuarias sobre la cobertura de costras biológicas ha sido ya señalado por diversos autores (Liu et al. 2009; Ponzetti et al. 2001) 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 (MacCracken et al. 1983), especie encontrada dentro de los sitios de pastizales evaluados.

La especie de costra biológica del suelo que presentó mayor cobertura para la región fue *Endocarpon pussillum*, con el 57.55% de cobertura relativa, seguida de *Placidium* sp. con 20.62%. En el estudio realizado por Jiménez (2005), 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.

### ***Diversidad***

La riqueza específica de costras biológicas del suelo para el área estudiada fue de 9 especies, con un valor del índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) en promedio de 1.57. De acuerdo al índice de diversidad de Shannon & Weiner ( $H'$ ) la comunidad evaluada presentó un valor en promedio de 1.42. Estos valores son relativamente altos cuando se comparan con los registros de líquenes realizados por Pinzón et al. (2006) quienes reportaron valores de diversidad de Shannon & Weiner de 0.74 en matorrales y de 0.72 en suelos desnudos de la región subxerofítica de La Herrera, Colombia. De manera similar, en sitios expuestos al sol en el Desierto de la India dominado por cianobacterias (*Phormidium*), Bhatnagar et al. (2003) reportan una diversidad (Índice de Shannon & Weaver) promedio de  $1.09 \pm 0.48$ . Por el contrario, Nagy et al. (2005) en un estudio realizado en 4 sitios del Desierto de Sonora con suelos áridos hipotérmicos y utilizando técnica molecular para determinar la diversidad procariótica de costras biológicas, encontraron índices de diversidad de Shannon & Weiner de 2.03 a 3.02, valores superiores a los estimados en nuestra área de estudio.

La diversidad 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 (Rogers 1972) y por diferentes factores del suelo, principalmente por el contenido de arcilla y su pH (USDA 1997; Eldridge et al. 2006).

## CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos para la zona de estudio se concluye que la superficie del suelo está cubierta por el 16.23% de costras biológicas del suelo. La superficie evaluada está dominada principalmente por suelo desnudo cubriendo el 70.93% de la superficie de estudio. Se identificaron 9 especies de costras biológicas del suelo: líquenes (siete), cianobacterias (una) y hepáticas (una).

Los géneros con mayor presencia fueron *Psora*, con tres especies y *Placidium* con dos.

La costra biológica del suelo con mayor representatividad en la zona es *Endocarpom pussillum* con el 57.55% de cobertura relativa. La riqueza (especifica 9; índice de Margalef (DMg) en promedio de 1.57) y diversidad de especies de costras biológicas del suelo para la zona se consideran relativamente altos (Shannon & Weiner (H') valor en promedio de 1.42).

La presencia de yeso y carbonatos de calcio en el suelo son las variables que parecen definir, en mayor medida, la distribución de las costras biológicas del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PRACTICE (No. 226818) y al CONACYT por la beca otorgada. Agradecimientos especiales por su apoyo en revisiones de los ejemplares de CBS al Dr. Claudio Delgadillo (UNAM), Dr. José Gpe Marmolejo (FCF, UANL) y Biól. Violeta Chacón (FCF, UANL).

## **LITERATURA CITADA**

ALANÍS RE, PJ JIMÉNEZ, CO AGUIRRE, GE TREVIÑO, YE JURADO, & TM GONZÁLEZ (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL* Vol. XI Núm. 001:56-62.

ARRIAGA, L., J.M. ESPINOZA, C. AGUILAR, E. MARTÍNEZ, L. GÓMEZ & E. LOA (coordinadores) (2000) *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.

BELNAP J (1994) Potential role of cryptobiotic soil crusts in semiarid rangelands. In: SB Monsen SB, Kitchen SG, (eds) *Proceedings-Ecology and Management of Annual Rangelands*. General Technical Report INT-GTR-313. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, UT. 179-185.

BELNAP J (2001) Comparative structure of physical and biological crust. In: Belnap J & OL Lange (Eds.): *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*, Springer-Verlag, Berlin, Germany. 177-191.

BELNAP J (2002) Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. *Biol. Fert. Soils* 35, 128–135.

BELNAP J, B BÜDEL & OL LANGE (2003) Biological Soil Crusts: Characteristics and Distribution. In Belnap J & OL Lange (Eds) *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 3-30.

BELNAP J & DA GILLETTE (1997) Disturbance of biological soil crusts: impacts on potential wind erodibility of sandy desert soils in southeastern Utah. *Land Degradation and Development* 8: 355-362.

BELNAP J, JH KALTENECKER, R ROSENRETER, J WILLIAMS, J LEONARD & D ELDRIDGE (2001). *Biological Soil Crusts: Ecology and Management*. 111p.

BELNAP J & OL LANGE (2003) Biological soil crusts: Structure, Function, and Management. Springer, Berlin Heidelberg New York.

BELNAP J, SL PHILIPS & ME MILLER (2004) Response of desert biological soil crusts to alterations in precipitation frequency. *Oecologia* 141:306-316.

BHATNAGAR A, M BHATNAGAR, MDB MAKANDAR, & MK GARG (2003) Satellite centre for microalgal biodiversity in arid zones of Rajasthan. Project completion Report, Funded by Department of Biotechnology, New Delhi.

BLAKE G & AR HARTGE (1986) Bula density. In: Methods of soil analysis. C.A. Black (Editor). American society of agronomy, Madison. USA.

BOWKER MA & J BELNAP (2008) A simple classification of soil types as habitats of biological soil crusts on the Colorado Plateau, USA. *Journal of Vegetation Science* 19: 831-840.

BOWKER MA, J BELNAP J, DW DAVIDSON & H GOLDSTEIN (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.

BOWKER MA, J BELNAP, DW DAVIDSON & SL PHILLIPS (2005) Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: potential to impact arid lands restoration. *Ecological Applications* 15:1941-1951.

BOWKER MA, J BELNAP & ME MILLER (2006b) Spatial Modeling of Biological Soil Crusts to Support Rangeland Assessment and Monitoring. *Rangeland Ecology & Management* 59(5):519-529.

BRADY NC & RR WEIL (1999) The nature and properties of soils. Edition. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA. 12th edition. 881 pp.



BRODO JD, S SHARNOFF & S SHARNOFF (2001) *Lichens of North America*. Yale University Press & New Haven and London. 795 p.

BROTHERSON JD, SR RUSHFORTH & JR JOHANSEN (1983) Effects of long-term grazing on cryptogam crust cover in Navajo National Monument, Arizona. *Journal of Range Management* 36: 579-581.

BÜDEL B, T DARIEKO, K DEUTSCHEWITZ, S DOJANI, T FRIEDL et al. (2009) Southern African Biological Soil crusts are ubiquitous and highly diverse in drylands, being restricted by rainfall frequency. *Microb Ecol* 57:229-247.

CANALES DJC, MLM SCOTT, CM COTERA & MM PANDO (2007) Observaciones sobre los sucesos de temporada reproductiva de *Spizella wortheni*. *Ciencia UANL X* (2):160-167.

CASENAVE A & C VALENTIN (1989) Les États de Surface de la Zone Sahélienne. Influence sur l'infiltration. IRD, Paris, Francia. pp. 229.

CASTILLO MAP, MA BOWKER, FT MAESTRE, ES RODRÍGUEZ, I MARTÍNEZ, ZE BARRAZA & C ESCOLAR (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.

CEBALLOS GE, E MELINK & LR HANEBURY (1993) Distribution and conservation status of prairie dog *Cynomys mexicanus* in Mexico. *Biological Conservation* 63:105-112.

CHAMIZO S, A STEVENS, Y CANTÓN, I MIRALLES, F DOMINGO & B VAN WESEMAEL B (2012) Discriminating soil crust type, development stage and degree of disturbance in semiarid environments from their spectral characteristics. *European Journal of Soil Science* 63:42-53.

CHAMIZO S, CE RODRÍGUEZ, MI MIRALLES, A AFANA, R LÁZARO, F DOMINGO, CA CALVO, BA SOLE & Y CANTÓN (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.

CHEN J, YZ MING, L WANG, H SHIMAZAKI & M TAMURA (2005) A new index for mapping lichen-dominated biological soil crusts in desert areas. Remote Sensing of Environment 96(2):165-175.

COLWELL RK (2000) Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 6.0. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>

CORTINA J, FT MAESTRE, R VALLEJO, MJ BAEZA, A VALDECANTOS & DM PÉREZ (2006) Ecosystem structure, function, and restoration success. Are they related? Journal for Nature Conservation 14:152-160.

DEFALCO LA, JK DETLING, C RICHARD TRACY & SD WARREN (2001) Physiological variation among native and exotic winter annual plants associated with microbiotic crusts in the Mojave Desert. Plant and Soil 234, 1–14.

ELDRIDGE DJ, D FREUDENBERGER & TB KOEN (2006) Diversity and abundance of biological soil crust taxa in relation to fine and coarse-scale disturbances in a grassy eucalypt woodland in eastern Australia. Plant and Soil 281:255-268.

ELDRIDGE DJ & JF LEYS (2003) Exploring some relationships between biological soil crust, soil aggregation and wind erosion. Journal of Arid Environments 52:457-466.

ELDRIDGE DJ & RSB GREENE (1994) Microbiotic soil crusts: a review of their roles in soil and ecological process in the rangelands of Australia. *Soil Res* 53:389-415.

ELDRIDGE DJ & R ROSENTERTER (1999) Morphological groups: a framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *Journal of Arid Environments* 41: 11-25.

ESCUADERO A, I MARTÍNEZ, A DE LA CRUZ, MG OTÁLORA & MAESTRE FT. 2007. Soil lichens have species-specific effects on the seedling emergence of three gypsophile plant species. *Journal of Arid Environments* 70:18-28.

ESTRADA CE, ML SCOTT, QJA VILLARREAL, YE JURADO, CM COTERA, AC CANTÚ & PJ GARCÍA (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.

FANG SB (2010) Variation in spectral characteristics of moss soil crust. *Journal of infrared and millimeter waves* 29(5):347-350.

FILLOY J & MI BELLOCQ (2007) Respuesta de las aves rapaces al uso de la tierra: Un enfoque regional. *Hornero* 22(2):131-140.

FLORES XR & JMR TORRES (2000) Cambio de uso del suelo entre los sectores forestal, agrícola y pecuario. *Rev. Ciencia Forestal* 25:5-24.

FREY W & H KURSCHNER (1991) Das fossombrionio-gigaspermetum mouretti in der judaischen Wuste. 2. Okosoziologie und lebensstrategien. *Cryptogam bot* 2/3:73-84.

HAWKES CV (2003) Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del matorral de Florida. *Ecosistemas* N°2.

HECKMAN KA, WB ANDERSON & DA WAIT (2006) Distribution and activity of hypolithic soil crusts in a hyperarid desert (Baja California, Mexico). *Biol Fertil Soils* 43:263-266.

JIMÉNEZ AA (2005) Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. Tesis Maestría. IPICYT. San Luis Potosí, México. 47 p.

LALLEY JS & AV VILES (2005) Terricolous lichens in the northern Namib Desert of Namibia: distribution and community composition. *The Lichenologist* 37(1):77-91.

LANGLE OL, J BELNAP & H REICHENBERGER (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.

LÁZARO R, Y CANTÓN, A SOLÉ-BENET, J BEVAN, R ALEXANDER, LG SANCHO & J PUIGDEFABREGAS (2008) The influence of competition between lichen colonization and erosion on the evolution of soil surfaces in the Tabernas badlands (SE Spain) and its landscape effects. *Geomorphology* 102: 252-266.

LIU H, X HAN, L LI, J HUANG, H LIU & X LI (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.

LI XR, XH JIA, LQ LONG & S ZERBE (2005) Effects of biological soil crusts on seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China). *Plant and Soil* 277:375–385.

LÓPEZ CA, Y MAYA & MJQ GARCÍA (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.

MACCRACKEN JG, LE ALEXANDER & DW URESK (1983) An important lichen of southeastern Montana rangelands. *Journal of Range Management* 36: 35-37.

MAESTRE FT & J CORTINA (2003) Small-Scale spatial variation in soil Co<sub>2</sub> efflux in Mediterranean semiarid steppes. *Applied soil Ecology* 23: 199-209.

MAESTRE FT, MA BOWKER, Y CANTÓN, AP CASTILLO-MONROY, J CORTINA & C ESCOLAR (2011) Ecology and functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain. *Journal of Arid Environments* 75:1282-1291.

MAGER DM & C HUI (2012) A first record of biological soil crusts in the Cape Floristic Region. *S Afr J Sci.* 108(7/8), Art. #1013, 4 pages. <http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v108i7/8.1013>

MAGURRAN A (2004) *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing company. Oxford, UK. Pp. 106-121.

MAYA Y & CA LÓPEZ (2002) Cyanobacterial microbiotic crust in eroded soils of tropical dry forest in the Baja California Peninsula, Mexico. *Geomicrobiology Journal* 19:505-518

MONTAÑA C, B CAVGNARO & O BRIONES (1995) Soil water use by co-existing shrubs and grasses in the southern Chihuahua Desert, Mexico. *Journal of Arid Environments* 31:1-13.

NAGY ML, A PÉREZ & F GARCIA-PICHEL (2005) The prokaryotic diversity of biological soil crusts in the Sonoran Desert (Organ Pipe Cactus National Monument, AZ). *FEMS Microbiology Ecology* 54:233-245.

NASH III TH & TJ MOSER (1982) Vegetational and physiological patterns of lichens in North American deserts. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 53: 331-336

PINZÓN M & EL LINARES (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.

PONZETTI JM & BP MCCUNE (2001) Biotic soil crusts of Oregon's shrub steppe: community composition in relation to soil chemistry, climate, and livestock activity. *Bryologist* 104: 212-225.

PRASSE R & R BORNKAMM (2000) Effect of microbotic soil surface crusts on emergence of vascular plants. *Plant Ecology* 150:65-75.

PYKE DA, JE HERRICK, P SHAVER & M PELLENT (2002) Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management* 55:284-297.

QUIÑONES VJJ, PE CASTELLANOS, CCM VALENCIA, RJJ MARTÍNEZ, OT SÁNCHEZ, & GCA MONTES (2009) Efecto de la biología sobre la infiltración de agua en un pastizal. *TERRA Latinoamericana* 27(4):287-293.

FERNÁNDEZ & O. VIRAMONTES-OLIVAS (2007) Role environmental-hydrological of the hydraulics properties of the superficial soil in the watershed of the river Conchos. *Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish)* XII(4): 33-46.

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, UANL. Linares, N.L. México. 48 p.

REYES-GÓMEZ VM, D VIRAMMONTES, N MIRANDA-OJEDA, PB SÁNCHEZ-

RHOADES JD (1982) Soluble salts. In: A.L. Page (ed.) Methods of soil analysis. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc USA. P. 167-197.

RIVERA AV, AH GODÍNEZ, CI MANUELL & ZS RODRÍGUEZ (2005) Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions. *Journal of Arid Environments* 63: 344-352.

RIVERA AV, AH GODÍNEZ, TR MORENO & ZS RODRÍGUEZ (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(11):1023-1028.

RIVERA AV, IM CACHEUX & ÁLVAREZ (2004) Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias* 75:24-27.

ROGERS RW (1972) Soil surface lichens in arid and subarid south-eastern Australia. III. The relationship between distribution and environment. *Australian Journal of Botany* 20, 301–316. doi: 10.1071/BT9720301

ROSENRETER R & J BELNAP (2003) Biological soil crusts of North America. In Belnap J., Lange O.L. (Eds) *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 31-50.

ROSENRETER R, M BOWKER & J BELNAP (2007) *A Field guide to biological soil crusts of Western U.S. Drylands*. U.S. Government Printing Office, Denver, Colorado.

ROYO M, A MELGOZA, J S SIERRA, R CARRILLO, P JURADO, R GUTIÉRREZ & F ECHAVARRÍA (2005) La salud de los pastizales medianos en los estados de Chihuahua y Zacatecas. II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales. UAZ-INIFAP. Zacatecas, Zac.

RZEDOWSKI J (1978) *Vegetación de México*. Limusa, México, D.F.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (2000)<sup>a</sup> Normales climatológicas 1971-2000. Estación San Rafael, Galeana, Nuevo León, México. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/nl/NORMAL19035.TXT>. 30 july 2012.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (2000)<sup>b</sup> Normales climatológicas 1971-2000. Estación Saltillo, Saltillo, Coahuila, México. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/coah/NORMAL05048.TXT>. 30 july 2012.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (2000)<sup>c</sup> Normales climatológicas 1971-2000. Estación El Salado, Vanegas, San Luís Potosí, México. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/slp/NORMAL24175.TXT>. 30 july 2012.

SERPE MD, SJ ZIMMERMAN, L DEINES & R ROSENRETER (2008) Seed water status and root tip characteristics of two annual grasses on lichen-dominated biological crusts. *Plant Soil* 303:191-205.

SHANNON C (1948) The mathematical theory of communication. In C. E. SHANNON; W. WEAVER (Ed). Univ. of Illinois Press; Pp. 134-154.

SIEBE C, R JAHN & K STAHR (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.

SU YG, XR LI, JG ZHENG & G HUANG (2009) The effect of biological soil crusts of different successional stages and conditions on the germination of seeds of three desert plants. *Journal of Arid Environments* 73(10): 931-936.

TIMDAL E (1986) A revision of *Psora* (Lecideaceae) in North America. *The Bryologist* 89(4): 253-275.



TOLEDO V & A FLORENTINO (2009) “Las costras microbióticas del suelo”.  
Revista de Investigación 68(33): 199-216.

TREVIÑO VJ & WE GRANT (1998) Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). Journal of Mammalogy 79:1273-1287.

USDA (1997). Introduction to microbiotic crust. Washington, D.C.: Secretary of Agriculture, U.S. Department of Agriculture. 13.

VESTE, M (2005) The importance of biological soil crusts for rehabilitation of degraded arid and semi-arid ecosystems. Science of Soil and Water Conservation 3:42-47.

YEN MMC (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.

ZADDY E, Y GUTTERMAN & B BOEKEN (1997) The germination of mucilaginous seeds of *Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata* and *Carrichtera annua* on cyanobacterial soil crusts from the Negev Desert. Plant and Soil 190: 247-252.

ZHANG Y (2005) The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. Chinese Science Bulletin 50(2): 117-121.

ZHANG YM, N WU, BC ZHANG & J ZHANG (2010) Species composition, distribution patterns and ecological functions of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert. Journal of Arid Land 2(3):180-189.

ZHAO J, Y ZHENG, B ZHANG, Y CHEN & Y ZHANG (2009) Progress in the study of algae and mosses in biological soil crusts. Front. Biol. China 4(2):143-150.

## CAPÍTULO 6

### **Effect of biological soil crusts on the germination of three plant species under laboratory conditions**

**Pando-Moreno Marisela<sup>1</sup>, Molina Víctor<sup>2</sup>, Jurado Enrique<sup>1</sup> and Flores Joel<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> Full time professor. School of Forestry Sciences, Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Carretera Nacional Km 145. C.P. 67700. Linares, Nuevo Leon. Mexico.

<sup>2</sup> Posgraduate student. School of Forestry Sciences, Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Carretera Nacional Km 145. C.P. 67700. Linares, Nuevo Leon. Mexico.

<sup>3</sup> Full time researcher. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, Camino a la Presa San José 12 2055 Col. Lomas 4 sección, C.P. 78216, San Luis Potosí S.L.P.

Corresponding author: Marisela Pando-Moreno; e-mail: mpando55@hotmail.com.

Telephone number: +52 (821) 212 4895 Ext. 125. Fax +52 (821) 212 4251 ext. 251.

#### **Abstract**

Semiarid grasslands in northeastern Mexico contain many endemic plants and animals and are an important refuge for resident and migratory animals. Here, as in many other semiarid areas, biological soil crusts are a key component of the ecosystem. However, findings about their effect on the germination of vascular plants are in contrast. In this study we determined the effect of seven dominant biological soil crusts (*Psora cerebriforme*, *Placidium* sp, *Endocarpon pussillum*,

*Nostoc commune*, *Xanthoparmelia chlorochroa*, *Psora decipiens*, and *Oxymitra* sp.) from the area on the germination percentage and germination rate of three native plant species: *Frankenia gypsophila*, *Muhlenbergia arenicola*, and *Sartwellia Mexicana*. Germination tests were carried out in an environmental chamber at 26°C and at a constant humidity of 60% with 12 hours by 12 hours light and darkness. Biological soil crusts did not affect germination percentage of the three evaluated plant species when compared to bare soil. Germination rate ranged between 3.5 and 5 days and there were no differences between substrates. Results from this research suggested that, under high substrate humidity conditions, biological soil crusts do not have an effect on germination of vascular plants.

Keywords: semiarid grasslands; northeastern Mexico; *Psora*; *Placidium*; *Nostoc*; *Endocarpon*; *Xanthoparmelia*; *Oxymitra*.

## **Introduction**

Biological soil crusts (BSC) are communities of microorganisms that live in the soils of arid and semiarid areas and are the main living cover in many arid areas of the world (Belnap 2006). BSC communities consist of soil surface-dwelling cyanobacteria, green algae, microfungi, bacteria, lichens and bryophytes formed by algae (Hawkes 2003; Zhang 2005; López et al. 2010) that grow on top or within the top layers of soil (Belnap et al. 2001; Quiñones et al. 2009). They influence local hydrological cycles, including soil porosity, roughness, aggregate stability, texture, pore formation and water retention (Belnap 2006), contribute to soil retention (Belnap and Gardner 1993; Zhang et al. 2006) and facilitate the accumulation of chemical elements (Jafari et al. 2004). Due to the effects of microtopography and

water and nutrients fluxes, BSC affect the distribution of resources in the soil, contributing to vegetation cluster patterns (Deines et al. 2007) and probably improve water infiltration and retention in the soil (Casenave and Valentin 1989; Montaña et al. 1995; Rosentreter and Belnap 2003; Reyes et al. 2007; Yair 2008; Chamizo et al. 2010).

Biological soil crusts can also affect the establishment and survival of vascular plants. Available data show varied results for BSC. Studies have shown BSC having either facilitative, inhibitory or no effect on vascular plant establishment and cover (During and Van Tooren 1990; Belnap et al. 2001). Existing evidence suggests that the effects of crusts on seed germination vary depending on the soil crust composition and plant characteristics (Lesica and Shelly 1992; Zaady et al. 1997; Prasse and Bornkamm 2000; Rivera-Aguilar et al. 2005; Serpe et al. 2006; Deines et al. 2007) as seeds vary in their germination requirements and consequently may respond differently to the conditions created by the crust (Baskin and Baskin 1998). Positive effects of the crust on vascular plants may be the result of improved soil moisture conditions and nutrient availability, as well as a decrease in predation (During and Van Tooren 1990; Belnap and Harper 1995). Negative effects could be attributed to competition for water and nitrate, changes in the red/far-red ratio or the presence of inhibitory compounds (During and Van Tooren 1990; Callaway and Walker 1997).

Germination rate results for different biological soil crusts and plant species have also been controversial. For example, Godínez et al. (2012) found no differences in  $t_{50}$  for *Agave marmorata* and *Neubuxbaumia tetetzo* germinated on a cyanobacteria crust and on bare soil. Deines et al. (2007) compared germination of two grass species (*Bromus tectorum* and *Vulpia microstachys*) on three different substrates

(lichen crust, mixed crust and bare soil) and found a longer germination time on the lichen crust than on bare soil and no differences between the mixed crust and bare soil for both grass species.

Recent studies have demonstrated that biological soil crusts, dominated by *Diploschistes* sp. reduced plant emergence (Escudero et al. 2007; Serpe et al. 2008). This might be due to the sealing of the soil pores by these crusts, that might reduce water availability and thus inhibit germination (Eldridge et al. 2010). Similarly, Prasse and Bornkamm (2000) in the Negev Desert, and Li et al. (2005) in the Tengger Desert of China found greater seedling emergence after removal or destruction of the BSC. St. Clair et al. (1984) observed significantly higher germination for three grass species on algal crusts compared with mixed crusts of lichens, mosses and algae. Zamfir (2000) showed that seedling emergence was much lower on lichen mats compared with moss mats for three of the four species studied. These uneven results highlight the relevance of evaluating more specific associations of BSC and vascular plant species in order to assess seed germination, seedling emergence and plant establishment. Hence, in this study we determined the effect of seven dominant BSC from the Northern Mexican Plateau on the germination percentage and germination rate ( $t_{50}$ ) of three native plants.

### **Study area**

The BSC were collected from the Priority Terrestrial Region (RTP 80) called El Tokio (Arriaga et al. 2000), which is located in the states of Nuevo León, Coahuila and San Luis Potosí in northern Mexico. The extreme coordinates of the collection area were 25°13'51" N and 101°17'28" W. Mean annual temperature for the region is 17.16°C, with a minimum of -1.8°C in January and maximum of 35.06°C in May.

Average annual rainfall is 386.43 mm with March being the driest month (8.43 mm) and August being the wettest (58.06 mm) (SMN, 2000<sup>abc</sup>).

Soils in the area have been classified into three broad groups: i) those with a high content of calcium carbonate and no gypsum; ii) soils with similar contents of gypsum and calcium carbonate and iii) those with a high gypsum content and very little or no calcium carbonate. These soils follow a gradient from the higher altitudes in Coahuila (2000 m) to the lowest areas in San Luis Potosí (1800 m) (Reyna 2007).

The vegetation is mainly made from communities of halophytic/gypsophyllus grasslands associated with microphyll and rosetophyll desert scrub (Estrada et al. 2010), where the most abundant plant families are: Poaceae, Chenopodiaceae and Frankeniaceae (Rzedowski 1978). These grasslands contain many endemic plants and animals and are an important refuge for resident and migratory animals (Day and Ludeke 1993).

## **Methods**

The dominant BSC were collected with a cylinder designed by the authors. The size of the cylinder was adjusted to the size of the petri dishes where the samples were to be placed (100 X 15 mm). The selected BSC covered at least 50% of the petri dish surface. Samples to be collected were previously sprayed with distilled water to facilitate their extraction. The cylinder was placed on top of the soil and pressed until the lower part of the cylinder touched the soil crust. Once the crust was extracted it was placed on a petri dish and sealed with tape. The following crusts were collected and identified by experts from two mycology laboratories: *Psora cerebriforme* (W.A. Weber), Psoraceae; *Placidium* sp., Verrucariaceae; *Endocarpom pussillum* (Hedwig), Verrucariaceae; *Nostoc commune* (Vauch), Nostocaceae; *Xanthoparmelia*

*chlorochroa* (Tuck.) Hale, Parmeliaceae; *Psora decipiens* (Hedwig) Hoffm., Psoraceae and *Oxymitra* sp., Oxymitraceae. Additionally, samples of bare soil from the three broad groups of soils in the region were collected to be used as controls.

Three native plant species that co-exist with the BSC were also selected and their seeds obtained: *Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.), Frankeniaceae; *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), Poaceae and *Sartwellia mexicana* (A. Gray), Asteraceae. These plant species were selected because they have been found to have a high germination percentage (>90%) under laboratory conditions, using agar as a medium (Contreras et al. 2012). The seeds were collected in September 2011 from plants growing within the study region, each seed lot contained a minimum of 50 individuals. The seeds were manually extracted, cleaned and selected using a stereoscopic microscope. They were then stored in plastic containers at room temperature.

There were no pre-treatments for either the seeds or the BSC before germination tests. Germination tests were carried out in an environmental chamber (Lumistell<sup>MR</sup> ICP-54) at 26°C (following Contreras et al. 2012) and at a constant humidity of 60% with 12 h by 12 h light and darkness. The seeds were checked every 24 hours (Baskin and Baskin 1998) over one month.

There were 30 treatments arranged randomly in the germination chamber (10 substrates (BSC or soil) x 3 plant species) with five replicates. The substrates were: S1: soil with gypsum and calcium carbonate (Sgc); S2: *Psora cerebriforme*; S3: *Placidium* sp.; S4: *Endocarpom pussillum*; S5: *Nostoc commune*; S6: soil with calcium carbonate and no gypsum (Sc); S7: soil with gypsum and no calcium carbonate (Sg); S8: *Xanthoparmelia chlorochroa*; S9: *Psora decipiens* and S10: *Oxymitra* sp. Seeds were from three plant species: *Frankenia gypsophila*, *Muhlenbergia arenicola* and *Sartwellia mexicana*.

Ten seeds of each plant species were sown on each Petri dish (50 seeds per treatment). The seeds were sown evenly spaced on the surface of the BSC or on bare soil. Germination was recorded when the seed radicle emerged and was visible (Jurado and Westoby 1992; Welbaum et al. 1998).

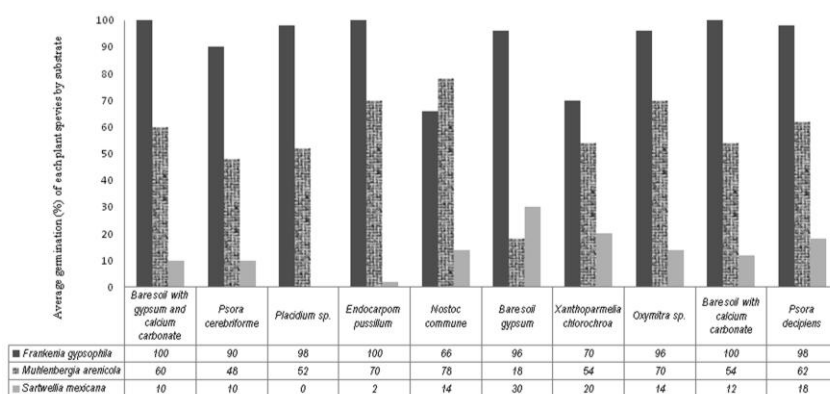
Variance was tested for normality and then ANOVA and Tukey's tests were performed, using SPSS statistics package ver. 19 (MX19000242), looking for differences in germination percentage between plant species, substrates and the substrate/plant species interaction (bi-factorial ANOVA).

Germination rate ( $t_{50}$ ) was also analyzed and species were classified according to Jurado and Westoby (1992) into three categories: (i) fast (50% germination in 1–4 days), (ii) moderate (50% germination in 4–7 days) and (iii) slow (50% germination in 7–9 days or longer). Differences in germination rate were analyzed by ANOVA and Tukey's test, and included only those petri dishes where at least one seed had germinated.

## Results

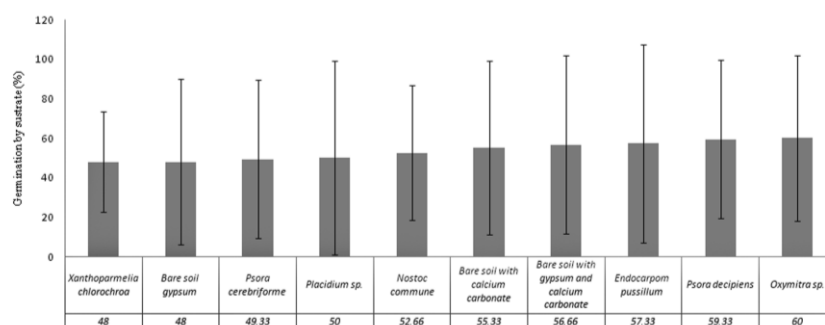
Germination differed between plant species ( $F=261.24$ ,  $df=2$ ,  $P=1.9E-44$ ). *Frankenia gypsophila* showed the highest germination percentage ( $91.4\% \pm 13$  sd), followed by *Muhlenbergia arenicola* ( $56.6\% \pm 17$  sd) and *Sartwellia mexicana* ( $13\% \pm 9$  sd). This ranking was consistent when evaluating germination percentage by substrate, except for *Nostoc commune* where *M. arenicola* had a higher germination percentage (78%) than *F. gypsophila* (66%) (Figure 1).





**Fig. 1.-** Average germination (n = 5) for each plant species by substrate

There were no significant differences in germination percentage between substrates ( $F= 1.09$ ,  $df=9$ ,  $P = 0.368$ ). Germination percentage by substrate ranged from 48 to 60% (Figure 2).



**Fig. 2.-** Combined average germination (n = 15) for all plant species on each substrate

There were significant germination differences ( $F=3.76$ ,  $df=18$ ,  $P=5.92E-06$ ) between the substrate/seed interactions, nine groups were identified (Table 1). Biological soil crusts did not show any effect on germination compared to bare soil, except for the interaction between *M. arenicola*/bare soil with gypsum (Table 1, Group 1) which showed a lower germination percentage than the other group interactions for the species (Table 1, Group 7;  $P = 0.582$ ). There were no significant interactions between *F. gypsophila* and the substrates (Table 1, Group 9,  $P = 0.081$ ), nor for *S. mexicana* (Table 1, Group 1,  $P = 0.582$ ).

Groups	Substrate/Seed	P
1	PS, EPS, PCS, SDgcS, SDcS, NCS, OS, PDS, SDgM, XCS, SDgS	0.582
2	PCS, SDgcS, SDcS, NCS, OS, PDS, SDgM, XCS, SDgS, PCM	0.134
3	SDcS, NCS, OS, PDS, SDgM, XCS, SDgS, PCM, PM	0.081
4	NCS, OS, PDS, SDgM, XCS, SDgS, PCM, PM, SDcM, XCM	0.081
5	XCS, SDgS, PCM, PM, SDcM, XCM, SDgcM	0.081
6	SDgS, PCM, PM, SDcM, XCM, SDgcM, PDM, NCF, EPM, OM, XCF	0.081
7	PCM, PM, SDcM, XCM, SDgcM, PDM, NCF, EPM, OM, XCF, NCM	0.582
8	PM, SDcM, XCM, SDgcM, PDM, NCF, EPM, OM, XCF, NCM, PCF	0.134
9	SDgcM, PDM, NCF, EPM, OM, XCF, NCM, PCF, OF, SDgF, PDF, PF, EPF, SDcF, SDgcF	0.081

**Table 1.-** Groups formed from the analysis of the interactions between substrates and seed species. (Tukey's HSD<sup>a,b</sup>). a = simple mean; b = Alpha 0.05. The first two letters are for the biological crust or bare soil initials and the last letter is for the genus of the plant species. Lower case letters characterize the soil: g = contains gypsum, c = contains calcium carbonate.

### Germination rate

The  $t_{50}$  germination rate was analyzed only for those seed species whose germination percentage was above 15% in all substrates. This threshold was established because germination percentages below 15% could generate  $t_{50}$  values that did not represent the species germination rate, but rather reflected that those seeds might require other treatments to promote germination. Hence,  $t_{50}$  is not shown for *Sartwellia mexicana* seeds.

*F. gypsophila* and *M. arenicola* seed germination started on the second day after sowing and had an average  $t_{50}$  of 4.86 and 3.65 days, respectively. According to Jurado and Westoby (1992), germination for *M. arenicola* was fast and moderate for *F. gypsophila* across substrates.

Germination rate ( $t_{50}$ ) was equal for all substrates ( $F=1.66$ ,  $df=9$ ,  $P=0.109$ ) and their values ranged between 3.5 and 5 days (Figure 3).

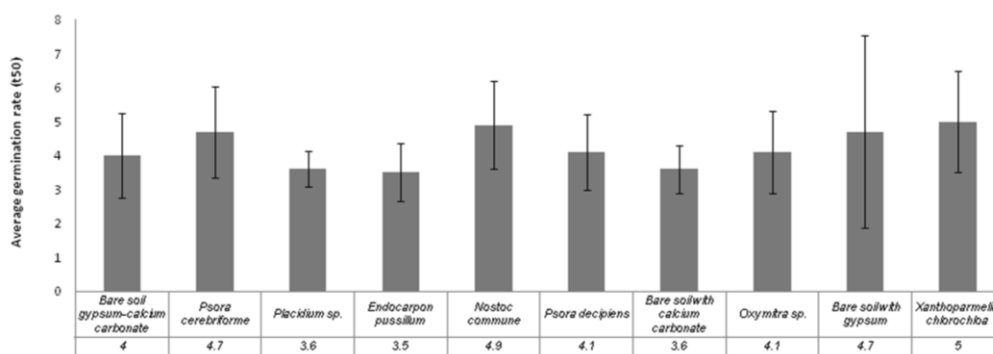


Fig. 3.- Average germination rates (t50) for the two species together on each substrate

## Discussion

Results from this research indicated that, under laboratory conditions, the BSC did not affect the germination percentage of the three evaluated plant species from the Northern Mexican Plateau.

In agreement with this study's findings, Li et al. (2005) found no differences in germination percentage and seedling establishment between soils with biological crusts and bare soil for *Eragrostis poaeoides* and *Bassia dasyphylla* under wet conditions in the Tengger Desert in Northern China. Deines et al. (2007) found negative effects for BSC on the germination of certain grasses (*Bromus tectorum* and *Vulpia microstachys*) where germination percentage, analyzed under laboratory conditions, was about three times lower on the BSC dominated by the lichen *Diploschistes muscorum*, than on bare soil. Germination on bare soil was found to be equal to mixed biological crusts which contain the lichens *Aspicilia*, *Caloplaca*, *Candelariella*, *Collema*, and *Placidium*, the cyanobacterium *Microcoleus*, and a low growing form of the moss *Syntrichia caninervis* Mitt. Zaady et al. (1997) found that germination of three mucilaginous seeds decreased on soils with a smooth crust dominated by cyanobacteria.

The effects of the BSC on germination may vary according to plant species, the type of biological crust (either smooth or rough) and the species that dominate in the crust (Rivera-Aguilar et al. 2005 and Deines et al. 2007), size and morphology of the seeds and the presence of microsites in the crust suitable for germination (Li et al. 2005). Escudero et al. (2007) and Serpe et al. (2008) showed that BSC reduced seedling emergence when it was dominated by species like *Diploschistes* sp. because this lichen might seal the soil, thus reducing water availability during the germination period of some plants. Contrastingly, the presence of both algal and moss crusts significantly enhanced the germination of *B. dasyphylla* and *A. ordosica* compared with uncrusted soil (Su et al. 2009).

Godínez et al. (2012) found that biological soil crusts increased germination of one species (*A. marmorata*) but did not show any effect on the germination of two other species from the same region (*P. laevigata* and *N. tetetzo*). Germination of *A. marmorata* was significantly higher on a cyanobacteria crust (72.5%) than on a mixed crust (30%) that contained cyanobacteria and moss (mainly *Bryum* and *Pseudocrossidium* species). Germination on bare soil (52.5%) had intermediate values that did not differ significantly from the BSC treatments. Godínez's experiment was also conducted in a laboratory and at constant humidity for all treatments.

The results of this study and most of the evidence provided in the literature seem to imply that the main positive effect of BSC on germination relies in their capacity to maintain enough soil humidity to allow germination. When tests are carried out under wet conditions, the effect is minimized.

### *Germination rate*

Seeds of *Muhlenbergia arenicola* and *Frankenia gypsophila* showed average germination rates ( $t_{50}$ ) of 3.65 days (fast) and 4.86 days (moderate), respectively. These short germination times could reflect the response of the seeds to one single event of profuse rainfall, typical for an environment where wet soils are uncommon and humid periods are brief (Jurado and Westoby, 1992), which are typical climatic characteristics for the area where the seeds chosen for this study came from.

Germination rate was similar across substrates. Likewise, Godínez et al. (2012) found germination rates of *Agave marmorata* and *Neobuxbaumia tetetzo*, from the arid zones of Mexico, between 1.88 and 5.5 days for the different species and treatments with no statistical differences between them. In contrast, Rivera-Aguilar et al. (2005) who evaluated germination rate for two plant species (*Mimosa luisana* and *Myrtillocactus geometrizans*) native to the semiarid Valle de Tehuacan in central Mexico, concluded that seeds placed in biological soil crusts had a faster germination rate compared to those placed in bare soil. Contrarily, Deines et al. (2007) found that germination rate of *Vulpia microstachys* and *Bromus tectorum* was faster on mixed crusts and on bare soil than on crusts of lichens, with an average germination rate of 5–7 days for the first two conditions and 11 days for the crust of lichens. Also working with grasses (*Festuca idahoensis*, *Festuca ovina*, *Elymus wawawaiensis* and *Bromus tectorum*), Serpe et al. (2006) found that seeds germinated faster on bare soil than on BSC made of short or large mosses (*Tortula ruralis* and *Bryum argenteum*) and Briggs and Morgan (2011) found that biological soil crusts delayed the timing of germination of five species (*Salvia verbenaca* (Lamiaceae), *Austrodanthonia* sp. (Poaceae), *Maireana excavata* (Chenopodiaceae), *Leptorhynchus scaber*

(Asteraceae) and *Vittadinia gracilis* (Asteraceae), common in the semi-arid woodlands to the northwest of Melbourne, Australia.

These somehow uneven results on germination rates seem to be a consequence of differences on the way the experiments were carried out (e.g providing or not constant humidity), as well as the roughness of the evaluated biological crusts and the dominant species on the crust.

### **Conclusions**

In this study we found that, under high substrate humidity conditions, biological soil crusts did not affect germination of vascular plants.

*Muhlenbergia arenicola* and *Frankenia gypsophila* had fast and moderate average germination rates ( $t_{50}$ ) of 3.65 days and 4.86 days, respectively, according to the expected germination times in environments where there are only brief periods of high soil humidity.

Values for  $t_{50}$  were between 3.5 and 5 days and did not differ between substrates.

### **Acknowledgments**

This work was supported by the UANL PAICYT (CT306-10) and PRACTICE (No. 226818) projects.

### **References**

Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez, and E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.

Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 1998. Seeds, ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, CA, EEUU.

Belnap, J. 2006. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrol Process* 20:3159–3178.

Belnap, J., B. Büdel, and O. L. Lange. 2001. Biological soil crusts: characteristics and distribution. In *Biological soil crusts: structure, function and management*. Eds. J. Belnap and O. Lange. pp 3-30. Springer-Verlag, Berlin.

Belnap, J., and J. S. Gardner. 1993. Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: The role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Gt. Basin Naturalist* 53: 40-47.

Belnap, J., and K. P. Harper. 1995. Influence of cryptobiotic soil crust on elemental content of tissue in two desert seed plants. *Arid. Soil Res. and Rehabilitation* 9: 107-115.

Briggs, A. L., and J. W. Morgan. 2011. Seed characteristics and soil surface patch type interact to affect germination of semi-arid woodland species. *Plant Ecology* 212:91-103.

Callaway, R. M., and L. R. Walker. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78:1958–1965.

Casenave, A., and C. Valentin. 1989. Les États de Surface de la Zone Sahélienne. Influence sur l'infiltration. IRD, Paris, Francia.

Chamizo, S., C. E. Rodríguez, M. I. Miralles, A. Afana, R. Lázaro, F. Domingo, C. A. Calvo, B. A. Sole, and Y. Cantón. 2010. Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos* 165:69-96.

- Contreras, Q. M. R., M. M. Pando, A. E. C. Estrada, E. Y. Jurado, and J. D. R. Flores. 2012. Germinación de semillas de especies nativas de los pastizales semiáridos del altiplano mexicano. VIII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas, MEMORIAS.
- Day, D. A., and K. L. Ludeke. 1993. Plant nutrients in desert environments. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Deines, L., R. Rosentreter, D. Eldridge, and M. D. Serpe. 2007. Germination and seedling establishment of two annual grasses on lichen-dominated biological soil crusts. *Plant and Soil* 295:23–35.
- During, H. J., and B. F. Van Tooren. 1990. Bryophyte interactions with other plants. *Bot J. Linn Soc* 104: 79 –89.
- Eldridge, D. J., M. A., Bowker, F. T., Maestre, P., Alonso, R. L., Mau, and J. Papadopolous. 2010. Interactive effects of three ecosystem engineers on infiltration in a semi-arid Mediterranean grassland. *Ecosystems* 13: 499-510.
- Escudero, A., I., Martínez, A., De La Cruz, M. G., Otálora, and F.T. Maestre. 2007. Soil lichens have species-specific effects on the seedling emergence of three gypsophile plant species. *J. of Arid. Environments* 70:18-28.
- Estrada, C. E., M. L., Scott, Q. J. A., Villarreal, Y. E., Jurado, C. M., Cotera, A. C., Cantú, and P. J. García. 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.
- Godínez, A. H., C., Morín, and A. V. Rivera. 2012. Germination, survival and growth of three vascular plants on biological soil crusts from a Mexican tropical desert. *Plant Biology* 14:157–162.



Hawkes, C. V. 2003. Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del matorral de Florida. *Ecosistemas* Vol. XII, Núm. 2:1-6.

Jafari, M., A., Tavili, N., Zargham, G. A., Heshmati, C. M. A. Zare, S., Shirzadian, H., Azarnivand, B. Gh. R., Zehta, and M. Sohrabi. 2004. Comparing some properties of crusted and uncrusted soils in Alagol Region of Iran. *Pak. J. Nutr.* 3: 273–277.

Jurado, E., and M. Westoby. 1992. Germination biology of selected central Australian plants. *Aust. J. Ecol.* 17:341–348.

Li, X. R., X. H., Jia, L. Q., Long, and S. Zerbe. 2005. Effects of biological soil crusts on the seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China). *Plant and Soil* 277:375–385.

Lesica, P., and J.S. Shelly. 1992. Effects of cryptogamic soil crust on the population dynamics of *Arabis fecunda* (Brassicaceae). *Am. Midl. Nat.* 128:53–60

López, C. A., Y., Maya, and M. J. Q. García. 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.

Montaña, C., B., Cavgnaro, and O. Briones. 1995. Soil water use by co-existing shrubs and grasses in the southern Chihuahua Desert, Mexico. *J. of Arid. Environments* 31:1–13.

Prasse, R., and R. Bornkamm. 2000. Effect of microbiotic soil surface crusts on emergence of vascular plants. *Plant Ecology* 150:65-75.

Quiñones, V. J. J., P. E., Castellanos, C. C. M., Valencia, R. J. J., Martínez, O. T., Sánchez, and G. C. A. Montes. 2009. Efecto de la costra biológica sobre la infiltración de agua en un pastizal. *TERRA Latinoamericana* 27(4):287-293.

Reyes, G. V. M., D., Viramontes, O. N., Miranda, F. P. B., Sánchez, and O. O. Viramontes. 2007. Papel hidrológico-ambiental de las propiedades hidráulicas del

suelo superficial de la cuenca del río Conchos. *Ingeniería Hidráulica en México* XXII (4):33-46.

Reyna, L. 2007. Caracterización de suelos de colonias del perrito llanero (*Cynomys mexicanus* Merriam), en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí. Bachelor thesis. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Rivera, A. V., A. H., Godínez, C. I. Manuell, and Z. S. Rodríguez. 2005. Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions. *J. of Arid. Environments* 63:244–352.

Rosentreter, R., and J. Belnap. 2003. Biological soil crusts of North America. In *Biological soil crusts: structure, function and management*. Eds. J. Belnap and O. Lange. Pp. 31-50. Springer-Verlag, Berlin.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México, D.F.

Serpe, M. D., J. M. Orm, T., Barkes, and R. Rosentreter. 2006. Germination and seed water status of four grasses on moss dominated biological soil crusts from arid lands. *Plant Ecol.* 185:163–178.

Serpe, M. D., S. J., Zimmerman, L., Deines, and R. Rosentreter. 2008. Seed water status and root tip characteristics of two annual grasses on lichen-dominated biological crusts. *Plant Soil* 303:191-205.

Servicio Meteorológico Nacional. 2000<sup>a</sup>. Normales climatológicas 1971-2000. Estación San Rafael, Galeana, Nuevo León, México. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/nl/NORMAL19035.TXT>. 30 july 2012

Servicio Meteorológico Nacional. 2000<sup>b</sup>. Normales climatológicas 1971-2000. Estación Saltillo, Saltillo, Coahuila, México.

<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/coah/NORMAL05048.TXT>.

30 July 2012

Servicio Meteorológico Nacional. 2000<sup>c</sup>. Normales climatológicas 1971-2000.

Estación El Salado, Vanegas, San Luís Potosí, México.

<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/slp/NORMAL24175.TXT>. 30

July 2012

St. Clair, L. L., B. L., Webb, J. R., Johansen, and G. T. Nebeker. 1984. Cryptogamic soil crusts: enhancement of seedling establishment in disturbed and undisturbed areas. *Reclam. and Revegetation Res.* 3: 129–136.

Su, Y. G., X. R., Li, J. G., Zheng, and G. Huang. 2009. The effect of biological soil crusts of different successional stages and conditions on the germination of seeds of three desert plants. *J. of Arid. Environments* 73:931-936.

Welbaum, G. E., K. J., Bradford, K. O., Yim, D. T. Booth, and M. O. Oluoch. 1998. Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Science Res.* 8:161–172.

Yair, A. 2008. Effects of surface runoff and subsurface flow on the spatial variability of water resources in longitudinal dunes, pp. 251–269, in Veste, M. (Ed.): *Arid Dune Ecosystems – The Nizzana Sands in the Negev Desert*, Ecol. Stud., 200. Springer, Berlin.

Zaady, E., Y., Gutterman, and B. Boeken. 1997. The germination of mucilaginous seeds of *Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata* and *Carrichtera annua* on cyanobacterial soil crust from the Negev Desert. *Plant and Soil* 190:247–252.

Zamfir, M. 2000. Effects of bryophytes and lichens on seedling emergence of alvar plants: evidence from greenhouse experiments. *Oikos* 88:603–611

Zhang, Y. M., H. L. Wang, X. Q., Wang, W. K., Yang, and D. Y. Zhang. 2006. The microstructure of microbiotic crust and its influence on wind erosion for a sandy soil surface in the Gurbantunggut Desert of Northwestern China. *Geoderma* 132:441–449.

Zhang, Y. 2005. The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. *Chin. Science Bull.* 50(2): 117-121.

## CAPÍTULO 7

### Discusión y conclusiones generales

Las costras biológicas del suelo, son consideradas como los primeros colonizadores en la formación y/o recuperación de un suelo degradado (Brady et al. 1999; Veste 2005). Son organismos vivos (Belnap & Gillette 1997; Bowkera et al. 2006) que se encuentran en un amplio rango de ecosistemas, desde los desiertos hasta las zonas polares (Castillo et al. 2011; Eldridge & Greene 1994; Büdel et al. 2009), desarrollándose de forma natural y preferentemente en los suelos desnudos (Jiménez 2005; Toledo et al. 2009).

La presente investigación buscó estimar los parámetros ecológicos que las costras biológicas del suelo representan en los ecosistemas de pastizales del altiplano Mexicano, así como, el determinar si promueve o no la germinación de tres especies nativas.

Partiendo del primer punto, Jiménez (2005) realizó un estudio en pastizales del norte de San Luís Potosí, México, que originalmente presentaba bosque de pino, a una altitud de 2330 m, donde identificaron seis tipos de costras biológicas del suelo, siendo éstas: *Acarospora schleicheri*, *Buellia* sp., *Disploschistes* sp., *Placynthiella uliginosa*, *Peltula michoacanensis* y una costra de hongos. Aún y cuando el área de estudio se encuentra cerca a la de la presente investigación, ninguna de las costras biológicas del suelo reportadas por Jiménez (2005) coincide con las identificadas en este trabajo, lo cual podría deberse a diferencias en las características del suelo, la altitud, o en la vegetación. En comunidades vegetales de zonas áridas de Zapotitlán, México, las costras biológicas del suelo más comunes fueron las cianobacterias, siendo los individuos más conspicuos *Chroococidiopsis*

sp. y *Nostoc* sp. (Rivera et al. 2009), encontrándose éste último género en el área de este estudio.

En estudios previos realizados en la misma región de esta investigación, Timdal (1986) reportó la presencia de *Psora crenata* y Yen (2006) las de *Psora crenata* y *Xanthoparmelia chlorochroa*; especies reportadas en la presente investigación.

Rivera et al. (2009) menciona que la presencia del genero *placidium*, es característico de sitios con suelos que contienen carbonatos de calcio, observando su presencia, en algunos sitios de la presente investigación, principalmente en los sitios que contienen CaCO<sub>3</sub>.

### ***Indicadores ecológicos***

La cobertura de las costras biológicas del suelo fue baja (16.24%) para las zonas en su conjunto. Este porcentaje de cobertura es muy escaso cuando se compara con suelos yesíferos en el desierto de Namibia o ecosistemas de fynbos en Sudáfrica (Lalley et al. 2005; Mager et al. 2012). De manera semejante, Belnap (1994) reporta coberturas del 40 al 70% para regiones áridas y semi áridas del mundo, porcentajes superiores a los obtenidos en este estudio.

El efecto de las actividades pecuarias sobre la cobertura de costras biológicas ha sido ya señalado por diversos autores (Ponzetti et al. 2001; Eldridge & Leys, 2003; Liu et al. 2009) 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 sobre pastoreadas (MacCracken et al. 1983), especie encontrada dentro de los sitios de pastizales evaluados.

*Endocarpon pussillum* fue la especie de costra biológica del suelo que presentó mayor cobertura para la región con el 57.55% de cobertura relativa, seguida de *Placidium* sp. con 20.62%. Jiménez (2005), 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 más abundantes a las de nuestra área de estudio.

### **Diversidad**

La riqueza específica de costras biológicas del suelo para el área estudiada fue de 9 especies, con valores promedio de índice de Margalef (DMg) de 1.57 y de diversidad de Shannon & Weiner ( $H'$ ) de 1.42. Estos valores son relativamente altos cuando se comparan con los registros de líquenes realizados por Pinzón et al. (2006) quienes reportan valores de diversidad de Shannon & Weiner de 0.74 en matorrales y de 0.72 en suelos desnudos de la región subxerofítica de La Herrera, Colombia. Bhatnagar et al. (2003) reportan una diversidad (Índice de Shannon & Weaver) promedio de  $1.09 \pm 0.48$ , en sitios expuestos al sol en el Desierto de la India dominado por cianobacterias (*Phormidium*). Por el contrario, Nagy et al. (2005) en 4 sitios del Desierto de Sonora con suelos áridos hipotérmicos y utilizando técnica molecular evaluaron la diversidad procariótica de costras biológicas y encontraron índices de diversidad de Shannon & Weiner de 2.03 a 3.02, valores superiores a los estimados en nuestra área de estudio.

La diversidad de costras biológicas del suelo dominada por líquenes puede estar influenciada por las condiciones climáticas, principalmente por la distribución y frecuencia de las lluvias (Rogers 1972) y por factores del suelo, como el contenido de arcilla y su pH (USDA 1997; Eldridge et al. 2006).

En lo referente, a la promoción de las costras biológicas del suelo a la germinación, los resultados de esta investigación indican que, bajo condiciones de laboratorio, las costras biológicas del suelo no afectaron el porcentaje de germinación de las tres especies de plantas evaluadas del altiplano Mexicano. De manera similar, Li et al. (2005) no encontraron diferencias en el porcentaje de germinación y establecimiento de plántulas entre los suelos con costra biológica y el suelo desnudo para *Eragrostis poaeoides* y *Bassia dasyphylla* en condiciones húmedas en el desierto de Tengger en el norte de China. Deines et al. (2007) encontraron efectos negativos de las costras biológicas del suelo en la germinación de algunas gramíneas (*Bromus tectorum* y *Vulpia microstachys*), donde el porcentaje de germinación, analizado también bajo condiciones de laboratorio, fue cerca de tres veces más bajo en la costra biológica del suelo dominado por el líquen *Diploschistes muscorum* que en el suelo desnudo. La germinación en el suelo desnudo resultó igual a la obtenida en costras biológicas mixtas que contienen los líquenes *Aspicilia*, *Caloplaca*, *Candelariella*, *Collema*, y *Placidium*, la cianobacteria *Microcoleus*, y una forma de bajo crecimiento del musgo *Syntrichia caninervis* Mitt. Resultados similares presentan Zaady et al. (1997) quienes reportan que la germinación de tres semillas mucilaginosas fue menor en suelos con una corteza lisa dominada por cianobacterias.

Los efectos de la costra biológica del suelo sobre la germinación pueden variar según las especies de plantas, el tipo de costra biológica (ya sea lisa o rugosa) y la especie que domina en la corteza (Rivera-Aguilar et al. 2005 y Deines et al. 2007), así como, el tamaño, la morfología de las semillas y la presencia de micrositios en las costras (Li et al. 2005). Escudero et al. (2007) y Serpe et al. (2008)



demonstraron que las costras biológicas del suelo reducen la emergencia de las plántulas cuando son dominadas por especies como *Diploschistes* sp. porque este líquen podría sellar el suelo, reduciendo así la disponibilidad de agua durante el período de germinación de algunas plantas. En contraste, la presencia de algas y musgos (costras) mejora significativamente la germinación de *Bassia dasyphylla* y *Artemisia ordosica* en comparación con el suelo sin costra (Su et al. 2009).

Godínez et al. (2012) encontraron que las costras biológicas del suelo incrementan la germinación de una especie (*Agave marmorata*), pero no mostraron ningún efecto sobre la germinación de otras dos especies de la misma región (*Prosopis laevigata* y *Neobuxbaumia tetetzo*). La germinación de *A. marmorata* fue más alta en una costra de cianobacterias (72.5%), que sobre una costra mixta (30%) que contenía cianobacteria y musgo (principalmente las especies *Bryum* y *Pseudocrossidium*). La germinación en el suelo desnudo (52.5%) tuvo valores intermedios que no difirieron significativamente de los tratamientos de las costras biológicas del suelo. La investigación de Godínez también fue realizada en laboratorio y a humedad constante para todos los tratamientos.

Los resultados de este estudio y la mayor parte de los resultados presentados en la literatura parecen indicar que el principal efecto positivo sobre la germinación de las costras biológicas del suelo se basa en su capacidad para mantener la humedad del suelo para permitir la germinación. Cuando las pruebas se llevan a cabo bajo condiciones de alta humedad, el efecto se minimiza.

### ***Velocidad de germinación***

Las semillas de *Muhlenbergia arenicola* y *Frankenia gypsophila* mostraron tasas promedio de germinación (T50) de 3.65 días (rápido) y 4.86 días (moderado), respectivamente. Estos tiempos de germinación cortos pueden reflejar la respuesta de las semillas a un solo evento de lluvia, típico de un ambiente donde los suelos húmedos son poco frecuentes y los períodos húmedos son breves (Jurado y Westoby 1992), que son las características climáticas típicas de la zona de donde se colectaron las semillas para este estudio.

La velocidad de germinación fue similar en todos los sustratos. Resultados semejantes reportan Godínez et al. (2012) con tasas de germinación de *Agave marmorata* y *Neobuxbaumia tetetzo*, especies propias de las zonas áridas de México, entre 1.88 y 5.5 días para las diferentes especies y tratamientos, sin diferencias estadísticas entre ellos. Por el contrario, Rivera-Aguilar et al. (2005) quienes evaluaron la tasa de germinación de dos especies de plantas nativas (*Mimosa luisana* y *Myrtillocactus geometrizans*) del Valle semiárido de Tehuacán, en el centro de México, llegaron a la conclusión de que las semillas colocadas en costras biológicas del suelo tenían una tasa de germinación más rápida en comparación con las situadas en suelo desnudo. Por el contrario, Deines et al. (2007) encontraron que la tasa de germinación de *Vulpia microstachys* y *Bromus tectorum* fue más rápida en las costras mixtas y en el suelo desnudo que en las costras de líquenes, con una tasa de germinación promedio de 5-7 días para las dos primeras condiciones y 11 días para la costra de líquenes. También trabajando con gramíneas (*Festuca idahoensis*, *Festuca ovina*, *Elymus wawawaiensis* y *Bromus tectorum*), Serpe et al. (2006) encontraron que las semillas germinaron más rápido en el suelo desnudo que en

costras biológicas del suelo con musgos cortos o largos (*Tortula ruralis* y *Bryum argenteum*) y Briggs & Morgan (2011) encontraron que las costras biológicas del suelo retrasan el momento de la germinación de cinco especies (*Salvia verbenaca* (Lamiaceae), *Austrodanthonia* sp. (Poaceae), *Maireana excavata* (Chenopodiaceae), *Leptorhynchus scaber* (Asteraceae) y *Vittadinia gracilis* (Asteraceae), comunes en los bosques semi-áridos en el noroeste de Melbourne, Australia.

Estos resultados, de alguna manera contradictorios, en las tasas de germinación, parece ser una consecuencia de las diferencias en la forma en que los experimentos se realizaron (por ejemplo, proporcionar o no humedad constante), así como la rugosidad de las costras biológicas evaluadas y las especies dominantes sobre la costra.

## **Conclusiones**

Considerando los resultados obtenidos para la zona de estudio se concluye que la superficie del suelo está cubierta por el 16.23% de costras biológicas. La superficie evaluada está dominada principalmente por suelo desnudo cubriendo el 70.93% de la superficie de estudio. Se identificaron 9 especies de costras biológicas del suelo: líquenes (siete), cianobacterias (una) y hepáticas (una).

Los géneros con mayor presencia fueron *Psora*, con tres especies y *Placidium* con dos.

La costra biológica del suelo con mayor representatividad en la zona es *Endocarpom pussillum* con el 57.55% de cobertura relativa. La riqueza y diversidad de especies de costras biológicas del suelo para la zona se consideran relativamente altos.

La presencia de yeso y carbonatos de calcio en el suelo son las variables que parecen definir, en mayor medida, la distribución de las costras biológicas del suelo.

En este estudio se encontró que, en condiciones de alta humedad del sustrato, las costras biológicas del suelo no afectaron la germinación de las plantas vasculares.

*Muhlenbergia arenicola* y *Frankenia gypsophila* tienen en promedio tasas de germinación rápidas y moderadas ( $t_{50}$ ) de 3.65 y 4.86 días, respectivamente, de acuerdo a los tiempos de germinación esperados en los entornos en los que hay solamente períodos breves de humedad alta en el suelo.

Los valores de  $t_{50}$  fueron entre 3.5 y 5 días, sin diferencias entre los sustratos.

## **8. LITERATURA CITADA EN LA INTRODUCCIÓN.**

Belnap J, Budel B, Lange OL. 2001a. Biological soil crusts: Characteristics and distribution. In: Belnap, J. & Lange, O.L. (Eds.): *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*, Springer-Verlag, Berlin, Germany. 3-30.

Belnap J. 2001b. Comparative structure of physical and biological crust. In: Belnap, J. & Lange, O.L. (Eds.): *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*, Springer-Verlag, Berlin, Germany. 177-191.

Belnap J, Kaltenecker JH, Rosentreter R, Williams J, Leonard J, Eldridge D. 2001c. *Biological Soil Crusts: Ecology and Management*. 111p.

Belnap J, Hawkes CV, Firestone MK. 2003. Boundaries in Miniature: Two examples from soil. *BioScience* 53 (8):734-756.

Belnap J, Gillette DA. 1997. Disturbance of biological soil crusts: impacts on potential wind erodibility of sandy desert soils in southeastern Utah. *Land Degradation and Development* 8:355-362.

Belnap, J, B. Büdel, Lange OL. 2003. *Biological Soil Crusts: Characteristics and Distribution*. In Belnap J., Lange O.L. (Eds) *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Springer, Berlin Heidelberg New York. 3-30.

Belnap J. 2002. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. *Biol. Fert. Soils* 35:128–135.

Belnap J, Lange OL. 2003. *Biological soil crusts: Structure, Function, and Management*. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Belnap J, Philips SL, Miller ME. 2004. Response of desert biological soil crusts to alterations in precipitation frequency. *Oecologia* 141:306-316.

Bowkera MA, Belnap J, Millerc ME. 2006. Spatial Modeling of Biological Soil Crusts to Support Rangeland Assessment and Monitoring. *Rangeland Ecology & Management* 59(5):519-529.

Brady NC, Weil RR. 1999. *The nature and properties of soils*. Edition. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA. 12th edition. 881 pp.

Büdel B, Darienko T, Deutschewitz K, Dojani S, Friedl T, Mohr KI, Salisch, Reisser W, Weber B. 2009. Southern African Biological Soil crusts are ubiquitous and highly diverse in drylands, being restricted by rainfall frequency. *Microb Ecol* 57:229-247.

Castillo MAP, Bowker MA, Maestre FT, Rodríguez ES, Martínez I, Barraza ZCE, 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.

Casenave A, Valentin C. 1989. Les États de Surface de la Zone Sahélienne. Influence sur l'infiltration. IRD, Paris, Francia. pp. 229.

Chamizo S, Stevens A, Cantón Y, Miralles I, Domingo F, Van Wesemael B. 2012. Discriminating soil crust type, development stage and degree of disturbance in semiarid environments from their spectral characteristics. *European Journal of Soil Science* 63:42-53.

Chen J, Ming YZ, Wang L, Shimazaki H, Tamura M. 2005. A new index for mapping lichen-dominated biological soil crusts in desert areas. *Remote Sensing of Environment* 96(2):165-175.

Cortina J, Maestre FT, Vallejo R, Baeza MJ, Valdecantos A, Pérez DM. 2006. Ecosystem structure, function, and restoration success. Are they related? *Journal for Nature Conservation* 14:152-160.

Day DA, Ludeke KL. 1993. Plant Growth in Desert Environment. En: Clodsley-Thompson (Ed), *Plant Nutrients in Desert Environments* Springer-Verlag, Berlin, Germany.

DeFalco LA, Detling JK, Richard Tracy C, Warren SD. 2001. Physiological variation among native and exotic winter annual plants associated with microbiotic crusts in the Mojave Desert. *Plant and Soil* 234:1–14.

Eldridge DJ, Greene RSB. 1994. Microbiotic soil crusts: a review of their roles in soil and ecological process in the rangelands of Australia. *Soil Res* 53:389-415.

Escudero A, Martínez I, De La Cruz A, Otálora MG, Maestre FT. 2007. Soil lichens have species-specific effects on the seedling emergence of three gypsophile plant species. *Journal of Arid Environments* 70:18-28.

Estrada CE, Scott ML, Villarreal QJA, Jurado YE, Cotera CM, Cantú AC, García PJ. 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Rev. Mex. Biodiv.* 81(2):401-416.

Fang SB. 2010. Variation in spectral characteristics of moss soil crust. *Journal of infrared and millimeter waves* 29(5):347-350.

Flores X, R. y J.M. Torres R. 2000. Cambio de uso del suelo entre los sectores forestal, agrícola y pecuario. *Rev. Ciencia Forestal* 25:5-24.

Frey W, Kurschner H. 1991. Das fossombronio-gigaspermetum mouretti in der judaischen Wüste. 2. Okosoziologie und lebensstrategien. *Cryptogam bot* 2/3:73-84.

Gauthier DA, Lafón A, Toombs TP, Hoth J, Wiken E. 2003. Grasslands, toward a North American Conservation Strategy. Commission for Environmental Cooperation. Canadian Plains Research Center. University of Regina. Saskatchewan, Canada. 99 p.

Green D. 1992. Rangeland assessment. In: New South Wales Proceedings of the 7th Biennial Conference, Australian Rangeland Society, Cobar, New South Wales. 267-268.

Hawkes CV. 2003. Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del matorral de Florida. *Ecosistemas*. N°2.

Heckman KA, Anderson WB, Wait DA. 2006. Distribution and activity of hypolithic soil crusts in a hyperarid desert (Baja California, Mexico). *Biol Fertil Soils* 43:263-266.

Jiménez AA. 2005. Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. IPICYT Tesis de Maestría. San Luis Potosí, México. 60 pp.

Langle OL, 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.

Lázaro R, Cantón Y, Solé-Benet A, Bevan J, Alexander R, Sancho LG, Puigdefabregas J. 2008. The influence of competition between lichen colonization and erosion on the evolution of soil surfaces in the Tabernas badlands (SE Spain) and its landscape effects. *Geomorphology* 102: 252-266.

López CA, Maya Y, García MJQ. 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.

Li XR, Jia XH, Long LQ, Zerbe S. 2005. Effects of biological soil crusts on seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China). *Plant and Soil* 277:375–385.

Maestre FT, Cortina J. 2003. Small-Scale spatial variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in Mediterranean semiarid stepes. *Applied soil Ecology* 23:199-209.

Maestre FT, Bowker MA, Cantón Y, Castillo-Monroy AP, Cortina J, Escolar C. 2011. Ecology and functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain. *Journal of Arid Environments* 75:1282-1291.

Morrone JJ. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Rev. Mex. Biodiv.* [online]. 2005, vol.76, n.2 [citado 2012-06-27], pp. 207-252. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532005000200006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532005000200006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1870-3453.

Montaña C, Cavgnaro B, Briones O. 1995. Soil water use by co-existing shrubs and grasses in the southern Chihuahua Desert, Mexico. *Journal of Arid Environments* 31:1-13.

Maya Y, López CA. 2002. Cyanobacterial microbiotic crust in eroded soils of tropical dry forest in the Baja California Peninsula, Mexico. *Geomicrobiology Journal* 19:505-518.



Prasse R, Bornkamm R. 2000. Effect of microbiotic soil surface crusts on emergence of vascular plants. *Plant Ecology* 150:65-75.

Pyke DA, Herrick JE, Shaver P, Pellent M. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management* 55:284-297.

Quiñones VJJ, Castellanos PE, Valencia CCM, Martínez RJJ, Sánchez OT, Montes GCA. 2009. Efecto de la costra biológica sobre la infiltración de agua en un pastizal. *TERRA Latinoamericana* 27(4):287-293.

Reyes-Gómez VM, Virammontes D, Miranda-Ojeda N, Sánchez-Fernández PB, Viramontes-Olivas O. 2007. Role environmental-hydrological of the hydraulics properties of the superficial soil in the watershed of the river Conchos. *Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish)* XII(4): 33-46.

Rivera AV, Cacheux IM, Álvarez HG. 2004. Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias* 75:24-27.

Rivera AV, Godínez AH, Manuell CI, Rodríguez ZS. 2005. Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory. *Journal of Arid Environments* 63(1):344-352.

Rivera AV, GodínezAH, Moreno TR, Rodríguez ZS. 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(11):1023-1028.

Rosentreter R, Belnap J. 2003. Biological soil crusts of North America. In Belnap J., Lange O.L. (Eds) *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 31-50.

Royo M, Melgoza A, Sierra JS, Carrillo R, Jurado P, Gutiérrez R, Echavarría F. 2005. La salud de los pastizales medianos en los estados de Chihuahua y Zacatecas. II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales. UAZ-INIFAP. Zacatecas, Zac.

Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México, D.F.

SEMARNAT 2006. Atlas geográfico del medio ambiente y recursos naturales. Impreso en México, D.F. 75 p.

Serpe MD, Zimmerman SJ, Deines L, Rosentreter R. 2008. Seed water status and root tip characteristics of two annual grasses on lichen-dominated biological crusts. *Plant Soil* 303:191-205.

Su YG, Li XR, Zheng JG, Huang G. 2009. The effect of biological soil crusts of different successional stages and conditions on the germination of seeds of three desert plants. *Journal of Arid Environments* 73(10): 931-936.

Toledo V, Florentino A. 2009. “Las costras microbióticas del suelo”. *Revista de Investigación* 68(33): 199-216.

Tongway DJ, Smith EL. 1989. Soil surface features as indicators of rangeland site productivity. *Australian Rangeland Journal* 11: 15-20.

Treviño VJ, Grant WE. 1998. Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy* 79:1273-1287.

Veste M. 2005. The importance of biological soil crusts for rehabilitation of degraded arid and semi-arid ecosystems. *Science of Soil and Water Conservation* 3:42-47.

Zaddy E, Gutterman Y, Boeken B. 1997. The germination of mucilaginous seeds of *Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata* and *Carrichtera annua* on cyanobacterial soil crusts from the Negev Desert. *Plant and Soil* 190:247-252.

Zhao J, Zheng Y, Zhang B, Chen Y, Zhang Y. 2009. Progress in the study of algae and mosses in biological soil crusts. *Front. Biol China* 4(2):143-150.

Zhang YM. 2005. The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. *Chinese Science Bulletin* 50 (2):117-121.

Zhang YM, Wu N, Zhang BC, Zhang J. 2010. Species composition, distribution patterns and ecological functions of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert. *Journal of Arid Land* 2(3):180-189.