
EFECTO DEL MICROSITIO EN LA COMPOSICIÓN DE COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO EN UN ÁREA DE MATORRAL MICRÓFILO DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE, MÉXICO

Maritza Gutiérrez Gutiérrez, Marisela Pando-Moreno, Humberto González Rodríguez y Dinorah Mendoza Aguilar

RESUMEN

Diversos estudios han analizado la asociación entre patrones espaciales de costras biológicas del suelo (CBS) y cobertura de plantas vasculares, y las conclusiones no son siempre concordantes. Conocer la interacción entre CBS y plantas vasculares es crucial para entender la dinámica de ecosistemas áridos/semiáridos. La presente investigación se enfoca en conocer el efecto de la presencia de la especie vascular dominante (*Larrea tridentata*), radiación solar y humedad del suelo en la composición de las CBS, bajo la hipótesis que la composición de éstas difiere en función de esos tres factores. Se definieron tres micrositios y en cada uno se ubicaron 20 puntos al azar: bajo arbusto exposición este (BAE), bajo arbusto exposición oeste (BAO) y área fuera de la proyección de la copa (FA). Los morfotipos (líquenes, musgos, cianobacterias y

hepáticas) de CBS mostraron preferencias ante determinados micrositios. Líquenes y musgos mostraron mayor cobertura en sitios bajo planta. La cobertura de líquenes bajo *L. tridentata* duplicó la cuantificada en las áreas FA. En promedio, los musgos cubrieron una superficie cuatro veces mayor bajo copas de *L. tridentata* que en micrositios FA. Las cianobacterias también mostraron mayor cobertura bajo copa, específicamente en BAO. Tanto la radiación solar como la humedad del suelo mostraron diferencias entre micrositios. Los resultados sugieren que la radiación solar es un factor relevante en la composición de las CBS en el área de estudio. Líquenes, cianobacterias y musgos mostraron mayores frecuencias y cobertura bajo la proyección de la copa de *L. tridentata* que en áreas abiertas.

Introducción

Las comunidades de costras biológicas del suelo (CBS) se

localizan en diversos hábitats alrededor del mundo, especialmente en zonas áridas y semiáridas (Belnap y Lange,

2003), aunque también es posible encontrarlas en áreas edáficamente secas de zonas templadas (Langhans *et al.*,

2009). Estas comunidades, constituidas por partículas de suelo en asociación con cianobacterias, algas verdes, líquenes

PALABRAS CLAVE / Asociación *Larrea tridentata*-CBS / Cianobacterias / Líquenes / Musgos /

Recibido: 11/04/2016. Modificado: 02/03/2017. Aceptado: 03/03/2017.

Maritza Gutiérrez Gutiérrez. Ingeniera Forestal, Maestra en Ciencias Forestales y Doctorante en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México. e-mail: maritza_gtz@hotmail.com.

Marisela Pando Moreno. Ingeniera Agrónoma Fitotecnista, UANL, México. Maestra en

Ciencias en Ecología, University of Adelaide, Australia. Doctora en Filosofía (Geografía), Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora, UANL, México. Dirección: Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Carretera Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700

México. e-mail: mpando55@hotmail.com.

Humberto González Rodríguez. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, UANL, México. Ph.D. en Fisiología Vegetal, Texas A&M University, EEUU. Profesor, UANL, México. E-mail: humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx

Dinorah O. Mendoza Aguilar Ingeniera en Acuicultura, Instituto Tecnológico del Mar, México Maestra en Ciencias Forestales y Doctora en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales, UANL, México. Postdoctorante, Universidad Rey Juan Carlos, España. e-mail: dinorah2741@hotmail.com

EFFECT OF THE MICROSITE IN THE BIOLOGICAL SOIL CRUST COMPOSITION IN A CREOSOTE BUSH AREA OF THE CHIHUAHUAN DESERT, MEXICO

Maritza Gutiérrez Gutiérrez, Marisela Pando-Moreno, Humberto González Rodríguez and Dinorah Mendoza Aguilar

SUMMARY

Several studies have been devoted to analyze the association between spatial patterns of biological soil crusts (BSC) and coverage of higher plants and, their conclusions are not always consistent. Knowing the interaction between BSC and vascular plants is crucial to understand the dynamics of the arid and semi-arid ecosystems. This research aims to know how the presence of the plant species *Larrea tridentata*, solar radiation and soil moisture influence the composition of BSC, under the hypothesis that the latter differs depending on those three factors. Three microsities were defined and simultaneously located at 20 randomly chosen points: under shrub east exposition (BAE), under shrub west exposition, (BAO) and area out of the canopy projection (FA). Morphotypes of the analyzed

BSC (lichens, mosses, cyanobacteria, and liverworts) showed preferences to certain microsities. Lichens and mosses showed higher cover in sites underneath the plant. Lichens cover was about twice under *L. tridentata* than in areas without the plant cover. On average, mosses covered an area four times greater under the canopy of *L. tridentata* than in areas without plants. Cyanobacteria also showed greater coverage beneath the canopy, particularly in the west exposition (BAO). Both solar radiation and soil moisture showed differences between microsities. The results suggest that solar radiation is a relevant factor in CBS composition at the study area. Lichens, cyanobacteria and moss showed higher frequencies and coverage underneath *L. tridentata* than in open areas.

EFEITO DO MICROSSÍTIO NA COBERTURA DE CROSTAS BIOLÓGICAS DO SOLO EM UM MATAGAL MICRÓFILO DO DESERTO CHIHUAHUENSE, MÉXICO

Maritza Gutiérrez Gutiérrez, Marisela Pando-Moreno, Humberto González Rodríguez e Dinorah Mendoza Aguilar

RESUMO

Diversos estudos têm analisado a associação entre os padrões especiais de crostas biológicas do solo (CBS) e a cobertura de plantas vasculares, e as conclusões nem sempre são concordantes. Conhecer a interação entre CBS e plantas vasculares é crucial para entender a dinâmica de ecossistemas áridos e semiáridos. A presente investigação tem como foco conhecer os efeitos da espécie vascular dominante (*Larrea tridentata*), da radiação solar e da umidade do solo na composição das CBS. A hipótese é de que a composição destas difere em função destes três fatores. Foram definidos três microssítios: sob o arbusto exposição leste, sob o arbusto exposição oeste e na área fora da projeção da copa, em 20 pontos aleatórios. Os morfótipos de CBS (líquens, musgos, cianobactérias e liverworts) mostraram preferências

nas condições de microssítios analisados. Líquens e Musgos mostraram maior cobertura em sítios sob a planta. A cobertura média de líquens sob *L. tridentata* foi mais que o dobro da quantificada nas áreas desprovidas de cobertura vegetal. Em média, os Musgos cobriram uma superfície quatro vezes maior abaixo das copas de *L. tridentata* que em áreas fora destas. As Cianobactérias também mostraram maior cobertura abaixo da copa, especificamente na exposição oeste. Ambos radiação solar e umidade do solo mostraram diferenças entre microssítios. Os resultados sugerem que a radiação solar é um factor importante para a composição do CBS em área de estudo. Líquenes, musgos e cianobactérias mostraram frequências mais altas de cobertura sob a projeção da copa de *L. tridentata* que em áreas abertas.

nes, hongos y briófitas, presentan cualidades fisiológicas tales como la resistencia a la desecación y la suspensión temporal de la respiración, con lo cual logran desarrollarse en ambientes con fuertes limitaciones hídricas (Belnap *et al.*, 2001).

Las CBS están compuestas por organismos de vida extremadamente larga, por lo que pueden proveer servicios ecosistémicos continuos (Castillo-Monroy y Maestre, 2011). Las CBS proveen estructura al suelo (Richer *et al.*, 2012), contribuyen al balance hídrico, control de erosión y al ciclo de nutrientes (Castillo-Monroy y Maestre, 2011). Además, la

presencia de líquenes en las costras mejora la resistencia del suelo a la erosión e incrementa su capacidad de retención de agua (Abed *et al.*, 2013). Las comunidades de CBS han sido consideradas como indicadores ambientales a largo plazo (Belnap *et al.*, 2001).

Los principales componentes de las CBS son organismos fotosintéticos; debido a esto algunos autores especulan que la relación entre la cobertura de costras y plantas vasculares es inversamente proporcional (Belnap *et al.*, 2001). Investigaciones llevadas a cabo en pastizales de Australia muestran que la cobertura y la riqueza de especies de costras fue mayor

en los microsítios sin vegetación, ya sea por pastoreo o cultivo, que en los sitios con vegetación (Eldridge *et al.*, 2000a). Específicamente en el caso de los líquenes componentes de las CBS, algunos estudios señalan que éstos están en desventaja competitiva con respecto a la vegetación vascular (Ochoa-Hueso *et al.*, 2011; Concostrina-Zubiri *et al.*, 2014).

Las CBS dominadas por musgos suelen ser abundantes en los microambientes más húmedos de los ecosistemas áridos y semiáridos, como es bajo la copa de los macollos de *Stipa tenacissima* en el centro y sureste de España (Maestre *et al.*, 2001). Asimismo, se ha

reportado que áreas abiertas con dominancia de CBS presentan mayor cobertura de cianobacterias y líquenes y menor cobertura de musgos, en comparación con los microsítios de suelo desnudo con baja cobertura de costras y el micrositio bajo planta (Mendoza-Aguilar *et al.*, 2014).

En los últimos años se ha incrementado el número de estudios sobre la ecología de las comunidades de CBS en EEUU (Belnap, 2002; Housman *et al.*, 2006; Pietrasiak *et al.*, 2013), Australia (Eldridge *et al.*, 2000a; Read *et al.*, 2008), Israel (Eldridge *et al.*, 2000b; Yair, 2003), China (Xu *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2010) y

España (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2010; Mendoza-Aguilar *et al.*, 2014). Sin embargo, aún se requiere ampliar este tipo de investigaciones, particularmente en países donde su estudio aún es incipiente como es el caso de México, para alcanzar una comprensión más completa del papel ecológico de estos organismos (Castillo-Monroy y Maestre, 2011; Concostrina-Zubiri *et al.*, 2013).

La presente investigación se enfoca en conocer si existe una asociación entre la composición de la CBS en términos de la proporción en que se encuentran los morfotipos que la componen, y las condiciones de micrositio. Se analiza la presencia y cobertura a nivel de morfotipos de la CBS, su ubicación con respecto a la especie vascular dominante, la humedad del suelo y la cantidad de luz que reciben. La hipótesis de este trabajo es que existe una asociación entre los micrositios de estudio y los morfotipos de costras biológicas de suelo.

Metodología

Área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en una superficie de matorral desértico micrófilo (24°47'10,94"N y 100°41'54,39"O; a 1900msnm) en los límites del Área Natural Protegida (ANP) Llano La Soledad, en la región sur del Desierto Chihuahuense, noreste de México. El área de estudio forma parte de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y limita al oriente con la Llanura Costera del Golfo Norte y con la Gran Llanura de Norteamérica (INEGI, 1986). Esta zona mexicana corresponde a la provincia de la altiplanicie (Rzedowski, 2006).

El ANP Llano La Soledad forma parte de lo que se considera un importante corredor para aves migratorias y residentes, como el águila real (*Aquila chrysaetos* Linnaeus) y la lechuza llanera (*Athene cucularia* Molina). Además, existen poblaciones de tejón (*Taxidea taxus* Baird) y zorra del desierto (*Vulpes velox* Say) como

especies clave (CONABIO, 2013), destacando la presencia de colonias de perrito llanero (*Cynomys mexicanus* Merriam), especie endémica considerada en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010).

El clima del área corresponde al tipo BSok (x'): árido, templado, con una temperatura media entre 12°C y 18°C, una temperatura mensual máxima de 36,6°C en abril y una mínima de -4,9°C en enero (García, 1981; CONABIO, 2013; CNA, 2016). La precipitación promedio anual es de 429,1mm con máxima mensual en enero (318mm) y mínima mensual de 72mm en abril (CNA, 2016).

El suelo es de tipo xerosol háplico y cálcico con fase física petrocálcica. Estos suelos sustentan una vegetación de pastizales halófilos, resistentes a las altas concentraciones de yeso (INEGI, 1986) y matorrales desérticos micrófilos, caracterizados por vegetación arbustiva de hojas pequeñas, generalmente en zonas aluviales (CONABIO, 2013).

El matorral desértico micrófilo, ubicado en las partes planas, está conformado por especies que toleran altas concentraciones de sales, destacando entre ellas (Estrada *et al.*, 2010) *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC.) Coville), *Rhus microphylla* (Engelm. ex A. Gray), *Condalia ericoides* (A. Gray) M.C. Johnston), *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *Yucca filifera* (Chabaud) y *Acacia constricta* (Benth.) (Estrada *et al.*, 2010).

Método

La morfología de los componentes de las CBS ha sido utilizada en numerosos trabajos como criterio para clasificar a los distintos tipos de éstas (Eldridge y Rosentreter 1999). En la presente investigación se establecieron las siguientes categorías: líquen, musgo, cianobacteria y hepática, mencionadas aquí como morfotipos.

En el área de estudio el morfotipo líquen está representado principalmente por *Endocarpon pusillum* (Hedw.) y *Collema coccophorum* (Tuck.) con frecuen-

cias del 70 y 46% respectivamente con respecto al total de líquenes. El morfotipo cianobacteria lo conforman mayormente los géneros *Scytonema* y *Microcoleus* y el morfotipo hepática los géneros *Riccia* y *Oximitra*. La identificación de los musgos no fue corroborada y solo se clasificaron en musgos altos, probablemente *Tortula rurales* (Hedw.), y musgos bajos.

Se definieron tres micrositios para comparar la cobertura de CBS por morfotipo: bajo arbusto con exposición este (BAE), bajo arbusto con exposición oeste (BAO) y en el área fuera de la proyección de la copa del arbusto (FA). Se ubicaron 20 puntos al azar, los cuales consisten en individuos pertenecientes a la especie arbustiva dominante del área de estudio (*Larrea tridentata*). Se colectó un total de 240 muestras durante los meses de mayo a agosto de 2014. En cada punto de muestreo se tomaron muestras al azar de CBS: tres muestras en los micrositios bajo planta exposición E, tres en micrositios bajo planta exposición O y seis muestras en el micrositio FA. Estas últimas fueron colectadas a una distancia <1,0m del límite de la proyección de la copa del arbusto muestreado para evitar variabilidad en cuanto a condiciones edáficas (Bowker *et al.*, 2006).

Los muestreos se realizaron humedeciendo la costra con agua destilada para posteriormente, con ayuda de cajas Petri de 9cm de diámetro y una espátula, extraer la costra hasta 1cm de profundidad. La cobertura de las CBS en las muestras recolectadas se cuantificó visualmente en el laboratorio utilizando una plantilla subdividida en radiales para una mejor aproximación en la estimación del área cubierta por cada tipo de CBS. Además, se llevó a cabo la identificación de las mismas haciendo uso de estereoscopio, microscopio compuesto, claves y guías de identificación correspondientes (Brodo *et al.*, 2001; Barreno y Pérez-Ortega, 2003; Rosentreter *et al.*, 2007; Richer *et al.*, 2012). También se colectaron muestras de

suelo para la determinación de humedad por el método gravimétrico y se tomaron datos de intensidad de radiación solar utilizando un luxómetro (Extech Instruments) para cada micrositio (BAE, BAO y FA), en cada punto de muestreo. Los datos de humedad del suelo y radiación solar fueron tomados a diferentes horas del día, dado el tiempo que implica recorrer el área de estudio; sin embargo, se tuvo cuidado de tomarlos con la menor diferencia de tiempo posible entre los tres micrositios de cada punto de muestreo. De ahí que estos valores fueron comparados mediante pruebas de t pareada o su equivalente no paramétrica.

Los datos de cobertura para los diferentes morfotipos de CBS, así como los datos de humedad y radiación solar de los tres micrositios fueron analizados para normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y mediante el estadístico de Levene para corroborar homocedasticidad (Dytham, 2011).

La cobertura de morfotipos de CBS entre micrositios se comparó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, seguida de la prueba U de Mann-Whitney; para la variable humedad del suelo se llevó a cabo la prueba de t pareada y para radiación solar la prueba no paramétrica de Wilcoxon's (Dytham, 2011). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SPSS® Statistics versión 19.

Se obtuvieron las frecuencias relativas para los morfotipos formadores de CBS dadas por el cociente entre la frecuencia absoluta y el número total de puntos para cada condición de micrositio.

Resultados

La cobertura de CBS mostró diferencias significativas entre micrositios para los morfotipos líquen (P=0,0001), cianobacteria (P=0,050) y musgo (P=0,0002). Las hepáticas no fueron consideradas para el análisis debido a que su cobertura promedio fue <0,4% en los tres micrositios.

Los micrositios bajo arbusto (BAE y BAO) mostraron las mismas coberturas entre sí para los tres morfotipos de CBS: líquen, cianobacteria y musgo ($P=0,194$; $0,490$ y $0,379$ respectivamente). Las diferencias se presentaron entre los micrositios BAE y FA, así como BAO y FA, siendo menores en el micrositio FA para todos los morfotipos (Figura 1).

Los líquenes en áreas abiertas (FA) presentaron una cobertura promedio de $2,67\%$, siendo este micrositio el que presentó la menor cobertura. No se detectaron diferencias entre la cobertura en áreas con exposición este y oeste bajo planta (BAE= $6,38\%$ y BAO= $7,38\%$). La cobertura promedio de cianobacterias fue mayor en el micrositio bajo planta exposición oeste (BAO) que en las áreas abiertas (FA) con $8,81$ y $4,63\%$ respectivamente. Entre los micrositios bajo planta no se presentaron diferencias (BAE= $7,19\%$ y BAO= $8,81\%$). Los musgos presentaron una cobertura promedio de $0,72\%$ en áreas abiertas, siendo éste el micrositio con menor cobertura para este morfotipo. Entre las exposiciones este y oeste bajo planta (BAE= $2,55\%$ y BAO= $3,53$) no se observaron diferencias (Tablas I y II).

Los resultados de humedad del suelo y radiación solar (Tabla III) permitieron explicar

parcialmente las diferencias en cobertura de las CBS entre micrositios. La humedad resultó mayor en el micrositio bajo planta exposición este que en las áreas abiertas ($P=0,035$; Tabla I). Entre los micrositios bajo planta (BAE y BAO) no se presentan diferencias para dicho factor abiótico ($P=0,806$). Sin embargo, la humedad del suelo fue similar en el suelo de los micrositios bajo planta exposición oeste y en las áreas abiertas ($P=0,84$).

La variable radiación solar fue mayor en las áreas abiertas ($P=0,001$) que en los micrositios bajo planta (Tabla I). No se presentaron diferencias entre los micrositios bajo planta (BAE y BAO; $P=0,502$) para dicha variable (Tabla I).

Los morfotipos líquen y cianobacteria presentaron frecuencias del 100% para los tres micrositios considerados. Las hepáticas tuvieron una mayor frecuencia en el micrositio BAO (25%), mientras que para

los micrositios BAE y FA la frecuencia fue de 15% . El musgo se presentó en un 100% del área muestreada en los micrositios BAE y BAO y en un 70% en el micrositio FA.

Discusión

Los morfotipos de CBS mostraron preferencias ante las condiciones de los micrositios que se analizaron (BAE, BAO y FA). La cobertura de líquenes, musgos y cianobacterias fue mayor en los micrositios bajo planta que en las áreas abiertas. La cobertura promedio de los líquenes bajo la proyección de la copa de *Larrea tridentata* resultó ser más del doble de la cuantificada en las áreas de suelo desprovisto de cobertura vegetal (2,6 veces mayor).

Las condiciones climáticas, principalmente la distribución y frecuencia de las lluvias, pueden influir en la abundancia de costras biológicas del suelo dominadas por líquenes

(Rogers, 1972); asimismo, los diferentes factores del suelo, particularmente el contenido de arcilla y su pH, juegan un papel importante en la composición y abundancia de estos organismos (Eldridge *et al.*, 2006). Al igual que otras especies vasculares en el área, *L. tridentata* retiene sedimentos en su parte basal y contribuye al enriquecimiento del suelo a nivel local con los restos de materia orgánica ahí acumulados. Esta modificación puntual de las propiedades del suelo, aunada a los cambios en el microclima como consecuencia de la sombra, puede crear micrositios con condiciones favorables para el desarrollo de costras biológicas.

Los resultados del presente estudio concuerdan con las observaciones de Maestre y Cortina (2002) y de Maestre (2003), quienes encontraron una asociación positiva entre los patrones espaciales de CBS compuestas de líquenes y cianobacterias y los patrones de

TABLA I
RELACIONES ENTRE LOS MICROSIOS Y LAS COBERTURAS DE CBS,
RESULTADOS DE LA PRUEBA U DE MANN-WHITNEY

Micrositios	Morfotipos			Humedad del suelo (%)	Radiación solar (Lux)
	Líquen	Cianobacteria	Musgo		
BAE - FA	0,001*	0,062	0,001*	0,035*	0,001*
BAE - BAO	0,194	0,49	0,379	0,806	0,502
BAO - FA	0,0002*	0,026*	0,0002*	0,084	0,002*

* Diferencias significativas entre los micrositios indicados.

TABLA II
COBERTURA PROMEDIO EN PORCENTAJE
±ERROR ESTÁNDAR DE CBS POR MORFOTIPO
PARA CADA MICROSIOS (N=20)

Micrositios	Morfotipos		
	Líquen	Cianobacteria	Musgo
BAE	6,38 ±0,99	7,19 ±1,23	2,55 ±0,50
BAO	7,38 ±0,93	8,81 ±1,61	3,53 ±0,69
FA	2,67 ±0,52	4,63 ±1,26	0,72 ±0,21

TABLA III
VALORES PROMEDIO ±ERROR ESTÁNDAR DE
HUMEDAD DEL SUELO (%) Y RADIACIÓN SOLAR
(LUX) PARA CADA MICROSIOS (N=20).

Micrositios	Humedad del suelo (%)	Radiación solar (Lux)
BAE	6,27 ±0,45	28310 ±4253
BAO	6,44 ±0,59	29975 ±4483
FA	5,29 ±0,45	42675 ±6168

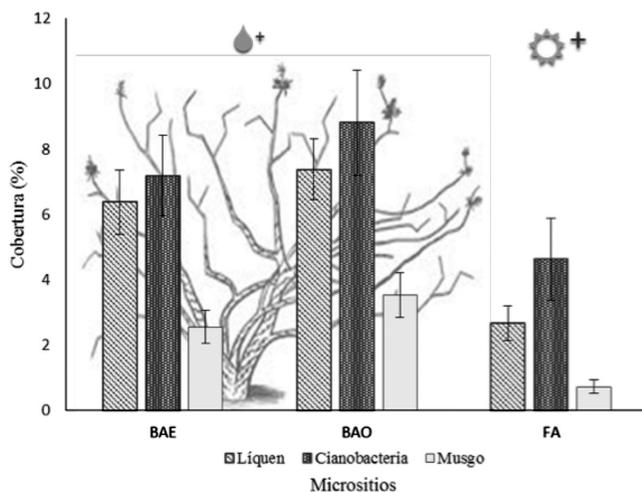


Figura 1. Coberturas por morfotipo de CBS para cada micrositio. Se indican los micrositios con mayor humedad (●+), así como el micrositio con mayor radiación solar (☀+). Los valores graficados representan la media ($n=20$) ±error estándar.

cobertura de *Stipa tenacissima*, especie de planta vascular dominante en una zona semi-árida al sureste de España.

Los resultados son concordantes también con otro estudio en el que se reporta menor cobertura de musgos para áreas abiertas en comparación con micrositios bajo planta (Mendoza-Aguilar *et al.*, 2014). Sin embargo, en el mismo estudio se reporta mayores coberturas de cianobacterias y líquenes en áreas abiertas que bajo planta, contrario a lo encontrado en esta investigación, y mencionan que esto puede deberse, al menos parcialmente, a que los líquenes encontrados dificultan el enraizamiento de las plantulas vasculares investigadas.

Los resultados de la presente investigación difieren también de otros estudios que reportan que las CBS presentan mayor cobertura en los micrositios sin vegetación que en aquellos con mayor cobertura vegetal, en pastizales inducidos con y sin pastoreo en el sureste de Australia (Eldridge *et al.*, 2000a). Estos autores sugieren que las actividades que provocan disturbios en la superficie del suelo estimulan la cobertura de CBS al incrementar la disponibilidad de micrositios sin vegetación. Asimismo, se menciona que las CBS y las plantas vasculares poseen relaciones inversamente proporcionales en relación a su cobertura (Belnap *et al.*, 2001).

Núñez y Toledo (2013) concluyen que aquellas áreas del suelo que se encuentran a la sombra de especies vasculares favorecen el crecimiento de los microorganismos presentes en la CBS y propician una mayor cobertura de ésta. Sin embargo, los mismos autores reportan que, cuando la CBS es analizada por morfotipo, la mayor cobertura de líquenes y cianobacterias se registra en las zonas abiertas, con mayor exposición del suelo a la radiación solar.

Otros estudios señalan que los líquenes están en desventaja competitiva con respecto a la vegetación vascular, ya que esta última compite más exi-

tosamente por recursos como luz, agua y nutrientes pudiendo desplazar a las CBS (Löbel *et al.*, 2006). Sin embargo, muy poco se ha estudiado el efecto de competencia entre los componentes de la CBS. Los líquenes y los briófitos tienen compuestos químicos que juegan un papel relevante en la toma de nutrientes (Hauck *et al.* 2009) por lo que especies con compuestos químicos diferentes podrían beneficiarse mutuamente si se asocian (Castillo-Monroy y Maestre, 2011) pero también pueden darse interacciones de competencia entre ellos. Por ejemplo, Maestre *et al.* (2008) observaron que los líquenes de CBS encontrados en un área del centro de España presentaron una menor coocurrencia de la esperada por azar; lo que los autores interpretaron como un predominio de las interacciones competitivas. Debido a la diferente morfología de las CBS con respecto a las plantas vasculares, los mecanismos de competencia y facilitación también difieren y la disponibilidad de espacio resulta un factor de competencia primordial, ya que éste les asegura el acceso a más recursos (Bowker *et al.* (2010).

En promedio, los musgos cubrieron una superficie cuatro veces mayor bajo las copas de *Larrea tridentata* que en áreas fuera de éstas. Esto concuerda con lo reportado en estudios llevados a cabo en el centro y sureste de España donde las CBS dominadas por musgos resultaron ser más abundantes en microambientes húmedos como lo es bajo la copa de los macollos de *Stipa tenacissima* (Maestre *et al.*, 2001; Castillo-Monroy *et al.*, 2010).

Las cianobacterias también mostraron una mayor cobertura bajo la proyección de la copa. La cobertura promedio en el micrositio BAO fue aproximadamente el doble que la cuantificada para áreas fuera de la proyección de la copa.

El micrositio más húmedo fue bajo planta exposición este (BAE). Sin embargo, como no se detectaron diferencias en la humedad del suelo entre la

exposición oeste (BAO) y fuera del arbusto (FA) no se puede inferir que las mayores coberturas encontradas en los micrositios bajo planta se deban únicamente al factor humedad.

La radiación solar fue mayor en las áreas abiertas que en los micrositios bajo la proyección de la copa (BAE y BAO), por lo que este factor parece influir más, en el área de estudio, en el establecimiento y proliferación de los morfotipos de costra biológica de suelo.

Las frecuencias de los morfotipos de mayores coberturas (líquen, cianobacteria y musgo) también expresaron una mayor ocurrencia en los micrositios bajo planta (BAE y BAO), en comparación con áreas abiertas (FA).

Es probable que el hecho de encontrar las mayores coberturas de los tres morfotipos de CBS (líquen, cianobacteria y musgo) en el micrositio bajo planta se deba a una menor competencia por espacio que en los estudios que reportan una distribución diferente, particularmente para los líquenes y cianobacterias. Se ha reportado que a altas densidades, la competencia por el espacio es frecuente entre los organismos que conforman la CBS (Castillo-Monroy y Maestre, 2011). En el presente estudio, las coberturas de líquenes, cianobacterias y musgos bajo planta estuvieron en valores de 6,9; 8 y 3,04% respectivamente; muy inferiores a los encontrados por otros autores que reportan valores de 42,6 para líquenes, 38,6 costra mixta y 18% de briofitas en el Valle de Quibor, Venezuela (Núñez y Toledo, 2013). Ello hace probable que la distribución se deba a una menor competencia por espacio entre los componentes de las CBS. Se han documentado interacciones competitivas entre los componentes de la CBS, tanto a nivel de par de especies como de comunidad, y se concluye que la intensidad de la competencia a nivel de comunidad se incrementa con el aumento de la aridez (Bowker *et al.*, 2010). Probablemente la aridez en otras áreas estudiadas sea más

severa que en la de este estudio, donde la temperatura mensual máxima es de 36,6°C y la menor precipitación mensual promedio es de 72mm. De acuerdo con lo expuesto por Bowker *et al.* (2010) la intensidad de la competencia se incrementaría con el aumento de aridez.

Conclusión

La especie vascular dominante en el área de estudio, *Larrea tridentata*, parece estar asociada positivamente a las CBS dominadas por líquen y musgo. Para el morfotipo cianobacteria esta asociación positiva se presenta específicamente con el micrositio bajo planta exposición oeste (BAO). Estos resultados son discordantes con los de otros autores quienes reportan que las CBS y las plantas vasculares poseen relaciones inversamente proporcionales en relación a su cobertura.

Los resultados sugieren que la cantidad de luz recibida es un factor relevante en la composición de las CBS en el área de estudio. La cantidad de luz difirió entre los micrositios bajo arbusto y fuera del arbusto, correspondiendo con las diferencias en coberturas de CBS. Tres de los morfotipos de CBS (líquen, cianobacteria y musgo) muestran mayor presencia y cobertura si crecen bajo la proyección de la copa de *L. tridentata* que en áreas abiertas.

REFERENCIAS

- Abed RM, Al-Sadi AM, Al-Shehi M, Al-Hinai S, Robinson MD (2013) Diversity of free-living and lichenized fungal communities in biological soil crusts of the Sultanate of Oman and their role in improving soil properties. *Soil Biol. Biochem.* 57: 695-705.
- Barreno E, Pérez-Ortega S (2003) Líquenes de la Reserva Integral de Muniellos Asturias Cuad. Medio Ambiente Serie Naturaleza 5. www.uv.es/barreno/Liquenes_Muniellos.pdf (Cons. 09/03/2016).
- Belnap J (2002) Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. *Biol. Fertil. Soils* 35: 128-135.

- Belnap J, Lange OL (2003) *Biological Soil Crust: Structure, Function and Management*. 2^a ed. Springer. Berlin, Alemania. 503 pp.
- Belnap J, Kaltenecker J, Rosentreter R, Williams J, Leonard S, Eldridge D (2001) *Biological Soil Crusts: Ecology and Management*. U.S. Geological Survey. Denver, CT, EEUU. 110 pp.
- Bowker M, Belnap J, Davidson D, Goldstein H (2006) Correlates of biological soil crust abundance across a continuum of spatial scales: support for a hierarchical conceptual model. *J. Appl. Ecol.* 43: 152-163.
- Bowker MA, Soliveres S, Maestre FT (2010) Competition increases with abiotic stress and regulates the diversity of biological soil crusts. *J. Ecol.* 98: 551-560.
- Brodo I, Duran S, Sharnoff S (2001) *Lichens of North America*. Yale University Press. New Haven, CO, EEUU. 795 pp.
- Castillo-Monroy AP, Maestre FT (2011) La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84: 1-21.
- Castillo-Monroy A, Maestre F, Delgado-Baquerizo M, Gallardo A (2010) Biological soil crusts modulate nitrogen availability in semi-arid ecosystems: insights from a Mediterranean grassland. *Plant Soil* 333: 21-34.
- CNA (2016) *Servicio Meteorológico Nacional*. Comisión Nacional del Agua. México. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL19057.TXT> (Cons. 03/03/2016).
- CONABIO (2013) *Regiones Terrestres Prioritarias de México: Tokio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_080.pdf (Cons. 27/10/2013).
- Concostrina-Zubiri L, Martínez I, Huber-Sannwald E, Escudero A (2013) Efectos y respuestas de la costra biológica del suelo en ecosistemas áridos: avances recientes a nivel de especie. *Ecosistemas* 22(3): 95-100.
- Concostrina-Zubiri L, Martínez I, Rabasa SG, Escudero A (2014) The influence of environmental factors on biological soil crust: from a community perspective to a species level approach. *J. Veget. Sci.* 25: 503-513.
- Delgado-Baquerizo M, Castillo-Monroy A, Maestre F, Gallardo A (2010) Plants and biological soil crusts modulate the dominance of N forms in a semi-arid grassland. *Soil Biol. Biochem.* 42: 376-378.
- DOF (30 de 12 de 2010) *NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- Dytham C (2011) *Choosing and Using Statistics: A Biologist's Guide*. Wiley. Oxford, RU. 298 pp.
- Eldridge DJ, Rosentreter R (1999) Morphological groups: A framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *J. Arid Environ.* 41: 11-25.
- Eldridge DJ, Semple WS, Koen TB (2000a) Dynamics of cryptogamic soil crusts in a derived grassland in south-eastern Australia. *Austral Ecol.* 25: 232-240.
- Eldridge DJ, Zaady E, Shachak M (2000b) Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev, Israel. *Catena* 40: 323-336.
- Eldridge DJ, Freudenberger D, Koen TB (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 Soil* 281: 255-268.
- Estrada E, Scott L, Villarreal J, Jurado E, Cotera MCC, García J (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. Biodivers.* 81: 401-416.
- García E (1981) *Modificaciones Al Sistema de Clasificación Climática de Koeppen*. Instituto de Geografía. México.
- Hauck M, Jürgens S-R, Willenbruch K, Huneck S, Leuschner C (2009) Dissociation and metal-binding characteristics of yellow lichen substances suggest a relationship with site preferences of lichens. *Ann. Bot.* 103: 13-22.
- Housman DC, Powers HH, Collins A, Belnap J (2006) Carbon and nitrogen fixation differ between successional stages of biological soil crusts in the Colorado Plateau and Chihuahuan Desert. *J. Arid Environ.* 66: 620-634.
- INEGI (1986) *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Langhans TM, Storm C, Schwave A (2009) Community assembly of biological soil crust of different successional stages in a temperate sand ecosystem as assessed by direct determination and enrichment techniques. *Microb. Ecol.* 58: 394-407.
- Löbel S, Dengler J, Hobohm C (2006) Species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in dry grasslands: the effects of environment, landscape structure and competition. *Folia Geobot.* 41: 377-393.
- Maestre F (2003) Variaciones en el patrón espacial a pequeña escala de los componentes de la costra biológica en un ecosistema mediterráneo semiárido. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76: 35-46.
- Maestre F, Cortina J (2002) Spatial patterns of surface soil properties and vegetation in a Mediterranean semi-arid steppe. *Plant Soil* 241: 279-291.
- Maestre F, Bautista S, Cortina J, Bellot J (2001) Potential of using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecol. Applic.* 11: 1641-1655.
- Maestre F, Escolar C, Martínez I, Escudero A (2008) Are soil lichen communities structured by biotic interactions? A null model analysis. *J. Veget. Sci.* 19: 261-266.
- Mendoza-Aguilar D, Cortina J, Pando-Moreno M (2014) Biological soil crust influence on germination and rooting of two key species in a *Stipa tenacissima* steppe. *Plant Soil* 375: 267-274.
- Núñez RF, Toledo BV (2013) Variación en la composición de la costra micro biótica según la exposición (solana-umbría), en suelos del sector sur de la quebrada Los Barrancos, Valle de Quibor, estado Lara. *Rev. Invest.* 78 (37): 193-212.
- Ochoa-Hueso R, Hernández RR, Pueyo JJ, Manrique E (2011) Spatial distribution and phytology of biological soil crust from semi-arid central Spain are related to soil chemistry and shrub cover. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1894-1901.
- Pietrasiak N, Regus JU, Johansen JR, Lam D, Sachs JL, Santiago LS (2013) Biological soil crust community types differ in key ecological functions. *Soil Biol. Biochem.* 65: 168-171.
- Read CF, Duncan DH, Vesk PA, Elith J (2008) Biological soil crust distribution is related to patterns of fragmentation and landuse in a dryland agricultural landscape of southern Australia. *Landsc. Ecol.* 23: 1093-1105.
- Richer R, Anchassi D, El-Assaad I, El-Matbouly M, Ali F, Makki I, Metcalf JS (2012) Variation in the coverage of biological soil crusts in the State of Qatar. *J. Arid Environ.* 78: 187-190.
- Rogers RW (1977) Soil surface lichens in arid and subarid south-eastern Australia. III. The relationship between distribution and environment. *Austral. J. Bot.* 20: 301-316.
- Rosentreter R, Bowker M, Belnap J (2007) *A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Drylands: Common Lichens and Bryophytes*. U.S. Government Printing Office. Denver, CO, EEUU. 103 pp.
- Rzedowski J (2006) *Provincias florísticas de México in: Vegetación de México*. 1^o ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf pp. 104-121.
- Xu S, Liu C, Jiang P, Cai W, Wang Y (2009) The effects of drying following heat shock exposure of the desert moss *Syntrochia caninervis*. *Sci. Total Environ.* 407: 2411-2419.
- Yair A (2003) Effects of biological soil crusts on water redistribution in the Negev Desert, Israel: a case study in longitudinal dunes. En J. Belnap, O. L. Lange, *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Springer. Berlin, Alemania. pp. 303-314.
- Zhang Y, Wu N, Zhang B, Zhang J (2010) Species composition, distribution patterns and ecological functions of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert. *J. Arid Land* 2: 180-189.