



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO
TÍTULO: La Costra Biológica del Suelo (CBS)
como nuevo ecosistema.**

Autor: Celia Visa García.

Fecha: 12/07/2019

Tutor: Leopoldo Garcia Sancho.

ÍNDICE

1. Resumen	3
2. Introducción	3
3. Objetivos	4
4. Material y métodos.....	4
5. Descripción fisionómica de la CBS.....	5
6. Zonas climáticas.....	7
7. Comportamiento fisiológico	7
7.1. Aporte en la fijación del Nitrógeno.....	8
7.2. Importancia de la CBS en los flujos de Carbono.....	9
7.2.1. Microescala.....	10
7.2.2. Macroescala.....	12
8. Ingeniería del paisaje. Restauración del suelo.....	13
8.1. Multifuncionalidad del suelo en ecosistemas de tierras secas...	14
8.2. Convivencia entre la CBS y áreas con vegetación, en ambientes áridos y semiáridos.....	16
9. Conclusiones. Gran futuro.....	17
Bibliografía.....	18

1. Resumen

La Costra Biológica del Suelo (CBS) coloniza la capa más superficial del suelo y crece allí donde las plantas vasculares no pueden desarrollarse, debido a la falta de hidratación, poca materia orgánica o a una estructura deficiente del suelo.

La CBS es una comunidad biótica formada por la íntima asociación entre partículas del suelo, cianobacterias, algas, hongos, líquenes y briófitos.

La CBS está ampliamente distribuida en muchos tipos de suelo aunque predomina en zonas áridas, semiáridas, alpinas y polares de todos los continentes.

Los ecosistemas áridos y semiáridos constituyen un tercio de la superficie terrestre total y en estos ecosistemas la actividad metabólica de la CBS está determinada por cambios drásticos y rápidos en la disponibilidad de agua. En estas zonas el metabolismo fotosintético se activa con cantidades extremadamente pequeñas de humedad. Los líquenes tienen ganancia de carbono (C) con grados muy bajos de hidratación y las cianobacterias y líquenes son capaces de fijar nitrógeno (N) atmosférico y hacerlo disponible para plantas vasculares, musgos y microorganismos.

Se han realizado estudios a microescala y a macroescala de la CBS, porque podrían ayudar a comprender las posibles consecuencias del cambio climático en el equilibrio del C en ambientes áridos y semiáridos, que son los ambientes en los que la CBS es más abundante.

La CBS puede ejercer un papel muy beneficioso en procesos de restauración del suelo y proporciona protección del mismo frente a la erosión. Es un bioindicador de los procesos de desertificación. La destrucción del suelo provoca problemas medioambientales y de salud.

La CBS regula el intercambio de agua, gas y nutrientes entre suelo y atmósfera, contribuye a la fijación de C y N aumentando la fertilidad de los suelos áridos y semiáridos. Interviene en los procesos hídricos, como infiltración, escorrentía, evaporación y humedad del suelo, produciéndose la dinámica fuente-sumidero, en la que la CBS actúa como fuente, generando escorrentía, y las zonas con vegetación actúan como sumidero por su capacidad de infiltración, consiguiendo de este modo que se reduzca la pérdida de agua, nutrientes y sedimentos en el ecosistema.

2. Introducción

En las últimas décadas, la costra biológica del suelo (CBS), comunidad biótica formada por la íntima asociación entre partículas de suelo, cianobacterias, algas, hongos, líquenes, hepáticas y briófitos, conocida internacionalmente como “biocrust”, ha despertado gran interés entre muchos investigadores de distintas disciplinas. La CBS está ampliamente distribuida en muchos tipos de suelo y en casi todas las comunidades vegetales donde la luz alcanza la superficie del suelo, aunque es más frecuente en zonas áridas, semiáridas, alpinas y polares (Castillo-Monroy, Andrea P., Maestre, Fernando T. 2011). La CBS generalmente ocupa espacios en los que no hay plantas vasculares perennes, en estas zonas la costra biológica puede cubrir hasta un 70% de la superficie del suelo.

La costra biológica del suelo está despertando un gran interés, por diferentes motivos, en primer lugar representa un importante aporte de carbono (C) y nitrógeno (N) al suelo; además incrementa la estabilidad del suelo, ya que modula la infiltración de agua al favorecer la agregación y cohesión de partículas de suelo; a su vez lo protege frente a la acción erosiva de la lluvia y el viento. A pesar de que la CBS aparece con mayor frecuencia en zonas desprovistas de plantas vasculares, también favorece su crecimiento, ya que influye en su establecimiento, contenido nutricional y estado hídrico.

Aunque la CBS ha adquirido un importante reconocimiento y actualmente está despertando gran interés su estructura y papel ecológico, su influencia se lleva estudiando desde los años 50, pero no es hasta los años 80 y 90 cuando se produce un importante incremento en las publicaciones sobre este tema, que ha seguido aumentando hasta la actualidad (Castillo-Monroy, Andrea P., Maestre, Fernando T. 2011). A partir de entonces se empieza a conocer más sobre los organismos que conforman la costra biológica, es decir organismos macro y microscópicos como cianobacterias, algas, hongos, líquenes, hepáticas y briófitos; así como su distribución, importancia en el flujo del agua etc.

3. Objetivos

Mediante esta revisión bibliográfica se pretende aportar una visión y conocimiento global de la Costra Biológica del Suelo (CBS), para entender qué organismos la componen, su comportamiento fisiológico y contribución a los distintos ciclos biogeoquímicos, más concretamente los ciclos del nitrógeno y el carbono, así como su papel en la fijación del CO₂, todo ello con el objetivo ampliar nuestros conocimientos sobre la CBS.

A su vez una vez descritos los puntos más importantes para poder entender qué es la CBS, profundizaremos en sus posibles aplicaciones y aportaciones a la estabilidad del suelo y todo lo que esto implica. Como ya hemos mencionado la CBS juega un papel fundamental en el papel del suelo en el ecosistema. CBS interfiere en el movimiento del agua en el suelo, generando flujos de escorrentía los cuales son aprovechables por la vegetación, además influye en los procesos de infiltración del suelo. Estos procesos de redistribución hidrológica, es decir, la escorrentía y la infiltración ocasionados por la CBS se comportan de una forma u otra en función del tipo de suelo, su textura y estructura. Dichos procesos también dependerían de la composición de la CBS, de su grado de desarrollo y tipo de organismos que la forman (Belnap & Lange 2003, Eldridge et al. 2010).

4. Material y métodos

Este trabajo se ha realizado por medio de una revisión bibliográfica, basada en la búsqueda y estudio de artículos científicos y documentos electrónicos.

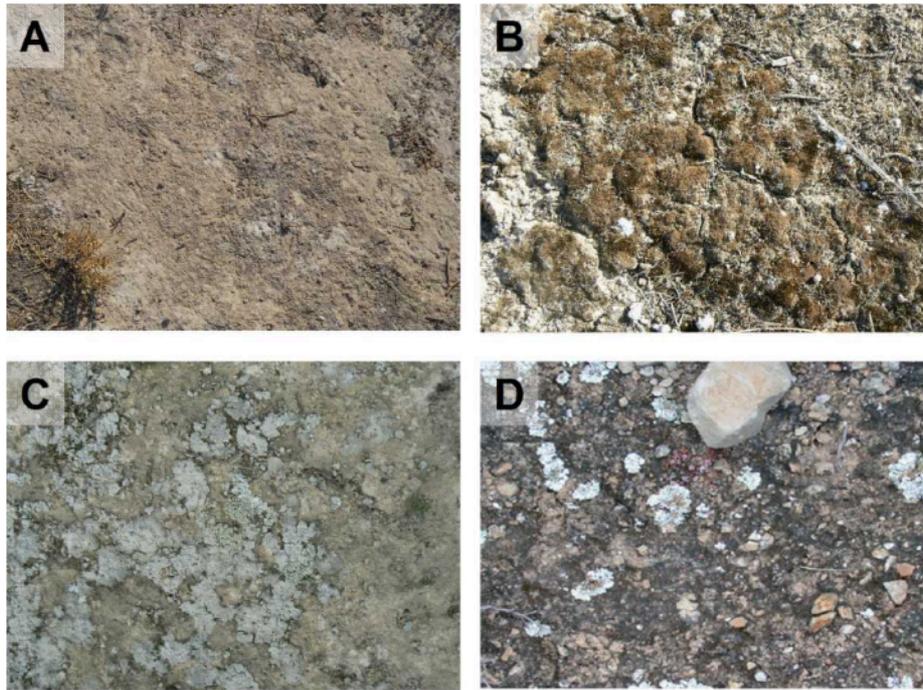
Se ha recurrido a herramientas de búsqueda como Google Académico y Scielo y a páginas web relacionadas con el tema como, USGS (*United States Geological Survey*) y del Laboratorio de Ecología de Zonas Áridas y Cambio Global de la Universidad Rey Juan Carlos. A su vez, se ha hecho uso de información procedente de libros y artículos de revistas publicadas, validadas.

5. Descripción fisionómica

La CBS está compuesta por diversos organismos macro y microscópicos: cianobacterias, algas, hongos, líquenes, hepáticas y briófitos. La apariencia, biomasa, y composición de esos organismos varía ampliamente dependiendo del régimen climático que se considere (Belnap & Lange 2003). La estructura externa e interna de la CBS cambia también de acuerdo a dichas variaciones, generando distintos tipos de costra.

Según el grupo de organismos dominante, la CBS se suele clasificar como:

- CBS de cianobacterias (ampliamente distribuida en el noroeste de Estados Unidos, Belnap & Gardner 1993). Suelen ser oscuras o negras. Tienen una amplia distribución en zonas áridas y semiáridas de todo el planeta, debido a su capacidad para soportar condiciones extremas de temperatura y humedad.
- CBS de algas verdes (abundante, por ejemplo, en zonas de sabana en la región del Orinoco venezolano; San José & Bravo 1991. Y en la región de Shapotou y en el desierto de Gurbantunggut, ambos en China). Este tipo de CBS tiene una gran importancia ecológica, ya que protegen de la erosión los suelos de las zonas con dunas. Son abundantes en zonas con latitudes altas, regiones desérticas frías (donde el suelo se congela).
- CBS de musgos (e.g., desiertos del norte China; Li et al. 2002). Son CBS distribuidas en mayor porcentaje en los microambientes más húmedos de los ecosistemas áridos y semiáridos; el contenido en arcilla y el pH son dos factores muy importantes para su distribución. CBS de líquenes (e.g., zonas áridas y semiáridas del centro y SE de España; Maestre et al. 2005). La CBS tiene distintos colores y formas, su distribución está muy condicionada por los factores climáticos, en concreto por las lluvias (distribución y frecuencia).



Tipos de costra biológica basados en el grupo morfológico dominante. (A) Suelo desnudo (desprovisto de vegetación), (B) Costra biológica dominada por musgos (briófitos), (C) Costra biológica dominada por líquenes y (D) Costra biológica dominada por cianobacterias.

La presencia en una zona de un tipo de CBS no excluye necesariamente a otro. Así, en una estepa semiárida típica del centro de España, la CBS es dominada por líquenes (40 % de la superficie total), si bien aquella dominada por cianobacterias y musgos ocupa el 20 % y 6 % de la superficie total, respectivamente (Castillo-Monroy et al. 2010).

Las cianobacterias predominan en la costra del suelo de zonas desérticas, mientras que los líquenes tienden a ser más abundantes a medida que aumenta la precipitación, (Belnap et al. 2001). Debido a su comportamiento poikilohidrico, los líquenes se adaptan muy bien a los hábitats extremos, con cambios rápidos de temperatura y humedad, característicos de zonas alpinas, y de zonas áridas con gran insolación, como pueden ser zonas del sur de Europa entre otras partes del mundo.

Los líquenes que forman parte de CBS están presentes en diferentes formas de crecimiento, pudiendo ser un talo crustáceo, folioso o fruticuloso. Las características individuales dependen de la zona climática a la que pertenezca (Grube et al. 2010). Dentro de los líquenes crustáceos, encontramos especies como *Buellia* sp. que están estrechamente relacionados con líquenes foliosos de la especie *Psora* sp. formando una capa fina y compacta en la superficie del suelo, en los centímetros superiores del sustrato (Belnap and Lange 2001).

6. Zonas Climáticas

La CBS está ampliamente distribuida en muchos tipos de suelo y en casi todas las comunidades vegetales donde la luz alcanza la superficie del suelo, si bien predomina en zonas áridas, semiáridas, alpinas y polares. La CBS ha sido descrita en prácticamente todos los continentes: América del Norte (Belnap et Gardner 1993), Central (Rivera-Aguilar et al. 2005) y del Sur (Pérez 1997), en el Ártico (Bliss & Gold 1999), en la Antártida (Cameron & Devaney 1970), en África (Aranibar et al. 2004), en Europa (Maestre et al. 2002), Oriente Medio (Zaady et al. 1996), Asia (Li et al. 2002) y Australia (Eldridge et Greene 1994).

En este trabajo nos centramos en las zonas áridas y semiáridas

> Ejemplos:

A) Zonas Áridas:

- Europa: Almería.
- África: desierto de Namibia.
- América: Utah, Nevada, California.
- Asia: Meseta de Loess, China.

B) Zonas Alpinas:

- Zona alpina de la región de Hochtorn (Grossglockner, Austria). En los alpes austriacos.

C) Zonas polares:

- Tundra ártica (antártida)

7. Comportamiento fisiológico

La costra biológica del suelo, es un fenómeno mundial en los paisajes áridos y semiáridos. Los organismos que forman la CBS tienen un comportamiento poikilohidrico, por lo tanto su actividad metabólica está dominada por cambios drásticos rápidos en la disponibilidad de humedad y en largos periodos de sequía.

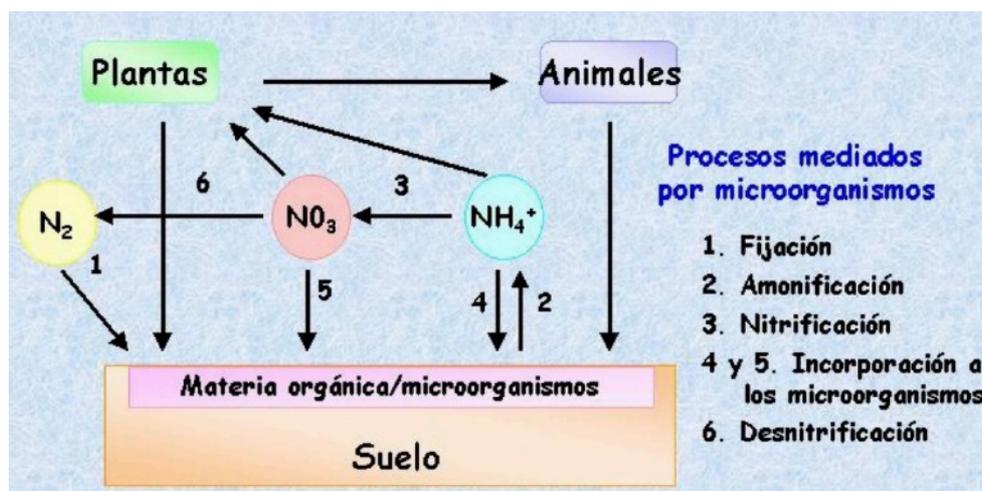
El estudio "*Photosynthesis of green algal soil crust lichens from arid lands in southern Utah, USA: Role of water content on light and temperature responses of CO₂ exchange*" (Lange, Jayne Belnap, Hans Reichenbergeri and Angelika Meyer. et al 1996) se describe la importancia del contenido de agua en el intercambio de CO₂ que se produce en la fotosíntesis y respiración, por parte de tres líquenes de algas verdes de la CBS, procedentes de una zona desértica del sur de Utah (EEUU). Dichas especies son, *Diploschistes diacapsis* (Ach.) Lumbsch, *Psora cerebriformis* W. Weber, and *Squammarina lentigera* (Weber) Poelt.

También se estudian los rápidos cambios drásticos en la disponibilidad de humedad durante largos periodos de sequía.

El metabolismo fotosintético se activa con cantidades extremadamente pequeñas de humedad, los valores más bajos de fotosíntesis neta, es decir, la ganancia real de carbono por la planta, resultado de la diferencia entre el C fijado en la fotosíntesis y el desprendido en la respiración y fotorrespiración, se alcanzaron con 0,05 - 0,27 mm de precipitación, lo que se traduce en que los líquenes tienen ganancia de carbono con grados muy bajos de hidratación. Los valores máximos de fotosíntesis neta se alcanzaron con precipitaciones entre 0.39 y 0.94 mm, las tasas relacionadas con el área fueron 2.6-5.2 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$.

7.2. Aporte en la fijación de nitrógeno

En los ecosistemas áridos y semiáridos, las concentraciones de N son relativamente bajas en relación a otros ecosistemas, las plantas vasculares no pueden captar el nitrógeno de la atmósfera, debido a su baja disponibilidad; es por tanto de vital importancia, la fijación del nitrógeno atmosférico por parte de las cianobacterias y líquenes, principales componentes de la costra biológica del suelo. Las cianobacterias y los líquenes fijan el N atmosférico y posteriormente lo reducen a amonio (NH_4^+).



La fijación de N por parte de la CBS es altamente dependiente de la humedad, la temperatura y la luz, así como de la composición específica de dicha costra (Belnap et al. 1994, Belnap & Lange 2003). Para muchas especies de líquenes, la fijación de N aumenta con temperaturas del orden de 25°C y con suficiente humedad (Belnap & Lange 2003). Por ejemplo, Belnap (2002) encontró diferencias entre desiertos con condiciones climáticas contrastadas; en desiertos fríos (Great Basin y meseta del Colorado, Estados Unidos), la CBS fijó menos N que en los cálidos (desiertos de Mojave y Sonora, Estados Unidos), debido principalmente a las especies dominantes. En el primer caso, la CBS estaba dominada por especies de cianobacteria poco activas, como *Microcoleus vaginatus* (Vauch.), y líquenes como *Collema tenax* (Sw), mientras que en el segundo la CBS estuvo dominada por cianobacterias

activas como *Scytonema myochrous* (Dillwyn) y *Nostoc* sp. Datos similares han sido proporcionados por otros autores; West & Skujins (1977) estimaron que la CBS dominada por cianobacterias aporta entre 25-100 kg N·ha⁻¹·año⁻¹ en el noreste del Great Basin, mientras que en el desierto de Sonora dicho aporte se ha estimado entre 7 y 18 kg N·ha⁻¹·año⁻¹ (Jeffries et al. 1992).

La CBS dominada por cianobacterias y cianolíquenes es capaz de fijar cantidades significativas de N atmosférico y hacerlo potencialmente disponible para las plantas vasculares, musgos y microorganismos (Veluchi et al. 2006). Zaady & Shachak (1994) sugirieron que la CBS podría ser el puente entre la atmósfera y los parches de vegetación en la transformación del N, y Belnap et al. (2003) consideran a la CBS como una interfase ente la atmósfera y el suelo, un “borde” a través del cual ocurren gran variedad de interacciones ecológicas, así como la transferencia de materia y energía entre la atmósfera y suelo. Las tasas de la transformación del N son altamente dependientes de la composición de la CBS. Cerca del 88% del N fijado es liberado al suelo de minutos a horas y está disponible para los organismos asociados como plantas o microorganismos (Belnap 2002).

Si bien está claro que la CBS contribuye significativamente al ciclo del N en aquellos ecosistemas donde está presente, hay poca información sobre el papel de estos organismos en las pérdidas de N gaseoso (Billings et al. 2002; Barger et al. 2005) y en transformaciones del N como la nitrificación.

7.2. Importancia de la CBS en los flujos de Carbono

Los ecosistemas áridos y semiáridos constituyen un tercio de la superficie terrestre global pero todavía se desconoce en gran medida su importancia en el ciclo del carbono (C). El suelo es el principal almacén de carbono, las regiones semiáridas podrían almacenar más C orgánico e inorgánico que las regiones áridas. El cambio de uso de suelo disminuye hasta en 50% el C orgánico del suelo (COS), pero las especies vegetales amortiguan el impacto del almacenamiento del C, al actuar como “hotspots” de conservación y transformación del COS. La Costra Biológica del Suelo (CBS) también controla la acumulación del COS, debido a su rápida respuesta a la humedad que potencia los flujos del C y la transformación de los nutrientes en el suelo.

Cable & Huxman (2004) determinaron que la CBS juega un papel clave en el ciclo del carbono de los ecosistemas áridos y semiáridos en el desierto de Sonora (Estados Unidos), siendo la respiración dependiente de las precipitaciones. Identificaron que pequeños pulsos de lluvia activan la CBS antes que las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo, debido a que el agua se evapora más rápidamente. Varios investigadores han puesto de manifiesto la importancia de factores ambientales como la temperatura y la humedad en procesos como la respiración edáfica. Thomas et al. (2008) midieron el flujo de CO₂ en el desierto de Kalahari en dos en dos estaciones contrastadas (seca y húmeda). Estos autores encontraron que durante el humedecimiento del suelo en la estación seca hubo una rápida toma de CO₂ atmosférico por parte de las cianobacterias sintetizadoras de la CBS, mientras que en la estación húmeda la respiración fue positiva independientemente del tipo de cobertura o del humedecimiento, con pér-

didadas netas de CO₂ de los suelos. Por otro lado el tipo de CBS es también fundamental a la hora de cuantificar el flujo de CO₂. Maestre et al. (2005) encontraron una relación positiva entre la cobertura total de la CBS y la respiración del suelo en una zona semidesértica del SE de España.

La CBS fija C atmosférico a través de la fotosíntesis y posteriormente lo libera al suelo por procesos de lixiviación y descomposición (Belnap & Lange 2003); así, la CBS ayuda a mantener la fertilidad de las zonas donde esta presente, además de proporcionar una fuente de energía a las comunidades microbianas del suelo. Belnap & Lange (2003) estimaron que cerca del 50% del C fijado durante la fotosíntesis es rápidamente secretado al suelo por cianobacterias, resultando en un incremento de 300% de C orgánico en el suelo.

La CBS requiere agua para activar su intercambio de gases, necesitando un óptimo nivel de hidratación para fotosintetizar (Lange 2000, Belnap & Lange 2003). Altos niveles de hidratación incrementan la resistencia de difusión y disminuye la disponibilidad de CO₂ a los organismos, mientras que una limitada disponibilidad de agua inhibe el funcionamiento celular. Por tanto no es bueno un excesivo aporte de agua, ni escasez de la misma. En ecosistemas áridos y semiáridos, la fotosíntesis neta es mayor que el flujo de CO₂ del suelo medido en superficies con CBS, aunque a menudo esta limitada por el bajo contenido en humedad (Belnap et Lange 2003). Esto puede ser causado por un incremento en la fijación de CO₂ por los organismos fotosintéticamente activos, aunque también es probable que la respuesta observada sea promovida por el impedimento de difusión de CO₂ del suelo cuando los poros contienen agua durante periodos húmedos.

El desarrollo de la CBS, así como las características y abundancia de las especies que la conforman son también factores importantes para una óptima fotosíntesis.

7.2.1. Estudios a Microescala:

En los estudios a microescala, se realizan medidas cuantitativas de los flujos de CO₂ usando distintos sistemas de intercambio de gas CO₂ (Sancho et al. 2016). Estos sistemas proporcionan medidas precisas para elaborar curvas de respuesta de fotosíntesis neta (NP), pero no proporcionan datos de absorbanza de CO₂ ni discrimina entre producción de CO₂ biótica y abiótica. Esto es importante debido a que en los suelos áridos, la actividad biológica no es la única fuente de intercambio de CO₂. Recientemente se ha visto que los ciclos inorgánicos de CO₂ en sustratos salinos y alcalinos puede ser superior al intercambio de CO₂ procedente de la actividad orgánica (Xie et al 2009; Shanhun et al. 2012; Ma et al. 2013).

A su vez sólo se pueden medir un número pequeño de ejemplos o cortos periodos de tiempo. Con estas medidas se realizan cálculos y modelos de los ciclos de carbono en la costra biológica del suelo, pero es difícil aumentar la escala para conocer los promedios anuales.

Los sistemas de monitorización de fluorescencia de la clorofila a largo plazo proporcionan información de periodos de actividad de los organismos in situ, así como la identificación del modo de activación de los mismos, es decir, mediante aire húmedo, rocío o lluvia. Estos datos son necesarios para determinar cualquier cálculo de la productividad a lo largo del tiempo.

Recientemente se ha desarrollado un sensor de humedad de la CBS, que permite medir la conductividad eléctrica, lo que determina el estado de actividad y el contenido en agua (Weber et al. 2016). Al ser económico, resistente y fácil de usar, se utiliza en mediciones a largo plazo, pero no informa de datos cuantitativos de absorción o pérdida de CO₂. Para obtener la producción primaria neta (NPP) se debe combinar este método con medidas de intercambio de gas CO₂ en condiciones ambientales variables, lo que puede explicar la relación entre fluorescencia de clorofila o contenido en agua con el intercambio de CO₂ de líquenes, algas y briofitos, lo que tiene como ventaja permitir la monitorización no invasiva a largo plazo.

Un sistema para calcular las ganancias anuales de carbono es el estudio de la productividad a través de la liquenometría a microescala, lo que se utiliza para calcular la ganancia de masa en un intervalo de tiempo seleccionado mediante la tasa de crecimiento de un talo en intervalos de tiempo (Armstrong y Bradwell 2010; Sancho y Pintado 2004; Sancho et al. 2011). De esta forma se pueden obtener las ganancias anuales de carbono determinando en primer lugar el peso del talo por unidad de área (Raggio et al. 2012) y posteriormente viendo la ganancia de masa. De tal manera que los datos obtenidos sean comparables en los diferentes ecosistemas de todo el mundo y nos ayuden a mejorar la comprensión de la contribución de los líquenes (mayormente comunidades epilíticas) al balance global de carbono.

Para conseguir datos a largo plazo, en teoría, se podrían combinar fotografías de alta calidad, apropiados programas de análisis de imágenes y una determinación precisa del peso de los talos en una superficie, ya que esto permitiría monitorizar la productividad a largo plazo de los líquenes crustáceos sin usar sistemas complicados y costosos. Lange (2003a) mostró que el balance anual de carbono de los sistemas dominados por líquenes puede alcanzar el 8% de la medida mundial de la productividad terrestre. En un estudio de un semidesierto en Sudáfrica, Weber et al. (2012) publicaron flujos de CO₂ relevantes, procedentes de musgos, lo que determinó la importancia fisiológica de medir la CBS completa y no sus componentes aislados.

Algunos de estos estudios a micro escala de la costra biológica del suelo (CBS), se vinculan con futuros escenarios de cambio climático, lo que podría ayudar a comprender posibles consecuencias del cambio climático en el equilibrio del carbono en ambientes áridos y semiáridos, donde más abunda la CBS.

Por otro lado, en los hábitats de tundra, los organismos poikilohídricos forman gran parte de la vegetación general. Los musgos juegan un papel importante en las tasas de fotosíntesis neta de la tundra, ya que su tasa de fotosíntesis neta es tres veces mayor a la de los líquenes (*Pogonatum alpinum* 27,8 nmol/

g (Oechel & Collins 1976), y el valor máximo de los líquenes es de 8,0 nmol/g (Tenhunen et al. 1992)). Las tasas de fotosíntesis neta en condiciones húmedas son muy altas, y conducen a estimaciones sustanciales de las tasas de fijación de carbono anuales en la tundra, donde las briofitas son especialmente importantes en los ciclos del C y el N (Turetsky 2003).

En los desiertos, debido a la limitada disponibilidad de agua, los organismos solo están activos esporádicamente (Lange et al. 2006; Sponseller 2007; Pintado et al. 2010), lo que hace que la NPP sea generalmente bastante más baja que en regiones templadas o polares, pero como en los desiertos las plantas superiores son escasas, la cubierta de CBS puede ser muy amplia y por tanto desempeñar un papel importante en los ciclos generales de carbono. Pero debido a la gran variabilidad de las precipitaciones en los desiertos, las estimaciones de la NPP pueden ser también muy variables, ya que la CBS se activa metabólicamente cuando hay humedad, pudiendo variar la NPP de 0 a 29 g/m²/año.

7.2.2. Estudios a Macroescala:

Cuando tenemos en cuenta las criptógamas (todos los vegetales sin semillas), en cuanto a cubierta del suelo, el consumo de carbono anual es de 2,4 PgC/año, y cuando nos referimos exclusivamente a la CBS, es de 0,6 PgC/año. Este valor representa el 1% de la NPP de la vegetación terrestre, en el ecosistema desértico este valor aumentaría a un 9% de la NPP total (0,07 a 0,8 PgC/año). Se amplía la escala de las mediciones de corto a largo plazo para obtener datos de mayor precisión, ciclos naturales de hidratación y deshidratación, que nos proporcionan datos de la productividad. Se debe seguir de cerca durante varios años, para poder comprender la gran variabilidad interanual de los ciclos de CO₂, para poder desarrollar modelos predictivos sólidos que evalúen el comportamiento de la CBS en un escenario de cambio global.

Al investigar las estimaciones globales, hay que tener en cuenta que la CBS también pueden mejorar indirectamente la absorción de CO₂ por parte de las plantas a través del enriquecimiento de nitrógeno con cianobacterias del suelo (Belnap 2002; Elbert et al. 2012). Profundizaremos en las posibles aplicaciones de esto más adelante.

A pesar de la potencial importancia de la Costra biología del suelo en los ciclos del carbono en todas las escalas, tenemos pocos datos cuantitativos para entender bien su papel. Por tanto hay que seguir realizando una labor de documentación de cómo los factores biológicos y físicos influyen en la fijación y pérdida de carbono, mediante la observación de tasas observadas de NPP/NSE (cociente entre la producción primaria neta y el intercambio neto del suelo). Ver qué parte de la NSE medida se debe a la fotosíntesis y la respiración de la CBS.

Además se debe observar como los factores biológicos y del medio ambiente interaccionan para determinar dicha fotosíntesis y respiración de la CBS.

8. Ingeniería del paisaje. Restauración de suelos

La CBS juega un papel muy importante en la funcionalidad del suelo, en este apartado se expondrá el papel beneficioso que puede ejercer la CBS en procesos de restauración del suelo, mediante su papel en la multifuncionalidad del mismo, y su influencia positiva en distintos fenómenos como la mitigación de las tormentas de arena que se producen en China.

La CBS es un componente fundamental en la estabilización del suelo, interviniendo en situaciones diversas, por ejemplo, en los ecosistemas áridos y semiáridos de China, interviene en la estabilización de dunas.

La formación de la CBS va ligada al régimen de precipitación así como a la deposición eólica de la zona donde se encuentre (Fearnehough et al. 1998, Li et al. 2002).

Por tanto el desarrollo de la CBS proporciona protección al suelo frente a los factores erosivos, así como actúa como una trampa de polvo rico en nutrientes (Hu et al. 2003, Guo et al. 2007) .

Como hemos mencionado anteriormente, la CBS juega un papel importante en la estabilización de dunas de ecosistemas áridos y semiáridos de China, pero esta protección no es exclusiva de allí ni un hecho aislado, ya que estos fenómenos de estabilización y protección del suelo se manifiestan en muchos ecosistemas donde se ha desarrollado la CBS, por ejemplos en zonas áridas y semiáridas de España (Maestre et al. 2005), México (Jiménez Aguilar et al. 2009) y Estados Unidos (Bowker et al. 2008, Chaudhary et al. 2009) entre otros.

La CBS protege y estabiliza el suelo agregando y adhiriendo partículas finas del suelo mineral, de tal manera que actúa como una manta horizontal, (Belnap & Lange 2003), gracias en mayor medida a la acción de las cianobacterias, las cuales producen polisacáridos, aunque los musgos y los líquenes también juegan cierto papel en dicho proceso (Belnap Et Gardner 1993). De esta forma se construye una base inicial para que los microorganismos del suelo inicien una adecuada colonización (Toledo 2006). En el suelo, la CBS se encuentra entremezclada con microorganismos y con partículas de sedimento, que son atrapadas o precipitadas por dichos componentes (Hu et al. 2003, Toledo 2006).

Diversos estudios han corroborado la acción estabilizadora del suelo que ejerce la CBS. Belnap et al. (2008) encontraron una buena relación ($R^2 = 0.61$) entre la CBS y la estabilidad del suelo, mientras que Bowker et al. (2008) demostraron que la clorofila a, usada como indicador de biomasa total en comunidades de CBS dominadas por cianobacterias, es un buen indicador de estabilidad del suelo. De tal forma que la cobertura total de CBS se ha empleado como indicador de estabilidad a distintas escalas espaciales (Chaudhary et al. 2009).

Sin embargo, estas cualidades de estabilización y protección del suelo que proporciona la CBS dependen en gran medida de la composición de la misma, ya que por ejemplo Maestre et al. (2005) no encontraron una relación significativa entre la cobertura total de los líquenes formadores de la CBS y la estabilidad de agregados del suelo. Por tanto quizá su acción depende del tipo de suelo y de la abundancia o escasez de cada uno de los componentes de la CBS (predominio de cianobacterias, etc). De tal manera que Jiménez-Aguilar et al. (2009) encontraron que la CBS do-

minada por líquenes y por cianobacterias (0.5-1 mm de grosor) presentaron mayores valores de estabilidad del suelo en el primer mm de profundidad que el suelo desnudo y la CBS dominada por cianobacterias (< 0.5 mm de grosor) en una zona semiárida de México.

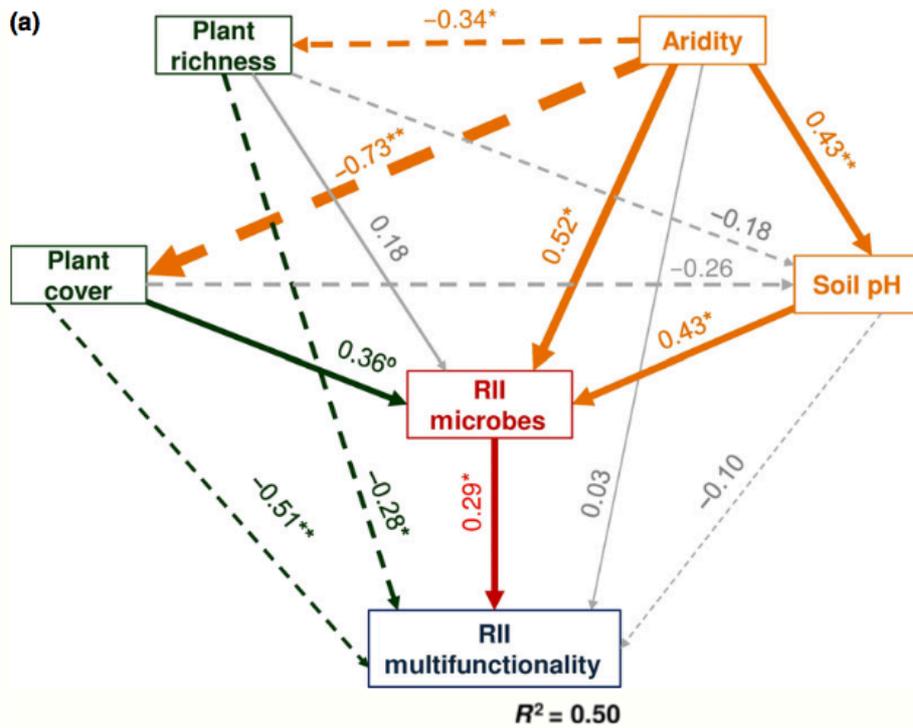
La CBS se identifica como un bioindicador en los procesos de desertificación (Bowker et al. 2006). Por tanto la CBS resulta necesaria para reducir la degradación del suelo y el avance progresivo de la desertificación. Esto nos lleva a pensar que la recuperación de la CBS en zonas donde se pueda haber degradado puede ser de utilidad en los procesos de restauración de los ecosistemas áridos y semiáridos degradados (Bowker 2007). Una forma de restauración es proporcionar al suelo inoculantes (productos promotores del crecimiento vegetal) como micro algas, qué, en comparación con los sistemas de recuperación a largo plazo, aceleran la recuperación de la CBS en regiones áridas y semiáridas.

Los recientes problemas medioambientales y de salud humana, como consecuencia de la destrucción del suelo, son la causa principal de preocupación por un drástico cambio medioambiental y sus consecuencias, tales como, las tormentas de arena en áreas secas del mundo, especialmente en el Medio Este y en países de África.

8.1. Multifuncionalidad del suelo de ecosistemas de tierras secas

La Costra biológica del Suelo (CBS) se está usando en política de sostenibilidad para conservación y gestión de recursos naturales en tierras secas de todo el mundo. Hay estudios que describen como los musgos que conforman la CBS mitigan el impacto negativo del incremento de la aridez en la multifuncionalidad del suelo en los ecosistemas áridos y semiáridos. Lo que resulta de gran interés debido a que la superficie terrestre correspondiente a zonas áridas alcanza el 41%. Cuanta más erosión, mayor degradación del suelo y mayor desertización.

En el suelo, la CBS convive con microorganismos, e influye en la abundancia y actividad de los mismos. Dichas comunidades microbianas desempeñan funciones en la descomposición, ciclo de los nutrientes y en la regulación del clima. La CBS ayuda a mantener múltiples funciones de los ecosistemas simultáneamente, ya que da estabilidad al suelo, e interviene en la fijación de carbono (C) y nitrógeno (N), así como en el ciclo del CO₂ y mineralización del N. Modulando la respuesta del C y N al cambio climático.



Modelo de ecuación estructural que evalúa los efectos directos e indirectos de distintos factores sobre la CBS en relación a los microorganismos del suelo y a la multifuncionalidad (microorganismos RII y multifuncionalidad RII), respectivamente. Los números situados en las flechas hacen referencia a la magnitud de la relación. Las flechas continuas y discontinuas indican relaciones positivas y negativas, respectivamente. (Delgado-Baquerizo, M., Maestre, Fernando T. et al. 2016).

A lo largo del Siglo XXI, el cambio climático ha afectado a las comunidades microbianas, las cuales han resultado ser muy sensibles a él.

El cambio climático ha producido un gran aumento de la aridez que afectará a la cobertura y a la riqueza de las plantas vasculares, como consecuencia puede que aumente la superficie de costra biológica del suelo, ya que se produce un aumento de la superficie disponible para la colonización y crecimiento de los organismos que conforman la CBS.

La CBS puede ayudar a que algunas funciones de los ecosistemas resistan al cambio climático. Por lo tanto un aumento de la aridez, incrementa la dependencia del ecosistema por el CBS ya que este ayuda a que los ecosistemas en tierras áridas mantengan su multifuncionalidad. Pero hay falta de estudios de campo a gran escala que lo demuestren.

8.2. Convivencia entre CBS y áreas con vegetación en ambientes áridos y semiáridos:

Como ya se ha visto, la costra biológica del suelo (CBS) coloniza los primeros milímetros del suelo. La CBS crece donde las plantas vasculares no pueden desarrollarse, debido a la falta de fuentes de hidratación, o a una baja estabilidad, poca materia orgánica o estructura deficiente del suelo (Singer, 1991). Por tanto la CBS no compite con las plantas vasculares por la luz, al crecer en zonas donde estas no pueden (Benalp et al., 2003). Según aumenta la adversidad de las condiciones ambientales, la CBS va a asumir un papel más y más importante.

La costra biológica del suelo, se sitúa en la capa más superficial del suelo, entre el suelo y la atmósfera, regulando el intercambio de agua, gas y nutrientes (Belnap et al., 2005). Agrega y adhiere partículas finas del suelo, de tal forma que estabiliza la superficie del suelo, protegiéndolo así de la erosión producida por el agua y el viento (Eldridge y Greene, 1994; Chamizo et al., 2012b).

La CBS contribuye en la fijación de carbono (C) y nitrógeno (N) (Zhang et al., 2005; Chamizo et al., 2012) aumentando la fertilidad de los suelos áridos y semiáridos (Housman et al., 2006).

En estos suelos, la CBS proporciona el mayor aporte de nutrientes al suelo, en los espacios entre vegetación (Evans y Lange, 2003). Interviene en los procesos hídricos, como infiltración, escorrentía, evaporación y humedad del suelo (Chamizo et al., 2016). Por tanto, la CBS tiene una gran importancia en la supervivencia de las plantas vasculares (Eldridge y Greene, 1994; Chamizo et al., 2012a). Por otra parte la presencia de plantas vasculares también favorece a la CBS, ya que proporcionan sombra, temperaturas menos extremas, y mayor humedad (Maestre y Cortina 2002; Bowker et al., 2005; Bowker, 2007).

En las zonas semiáridas, la vegetación crece de forma heterogénea, de tal manera que hay zonas con vegetación y otras sin ella. En los claros entre las zonas donde si hay vegetación, es donde se desarrolla la CBS. Esta convivencia entre zonas con vegetación y zonas con CBS, resulta beneficiosa para las plantas. Esto se explica por la dinámica fuente-sumidero de los ecosistemas áridos y semiáridos; esto quiere decir que cuando se producen las precipitaciones, la CBS genera escorrentía, y como la capacidad de infiltración de la Costra biológica es reducida, actúa redistribuyendo el agua de lluvia hacia las zonas donde sí hay vegetación, donde se almacena el agua. El agua, a su paso por la superficie de la costra biológica arrastra nutrientes y sedimentos, que van a parar a las zonas con vegetación (Ludwig et al., 2005; Puigdefábregas, 2005; Cantón et al., 2011). Este aporte de nutrientes se traduce en un aumento del crecimiento en las áreas con vegetación (Ludwig et al., 2005).

En esta dinámica fuente-sumidero la CBS actúa como fuente y las zonas con vegetación como sumidero, de tal forma que se reduce la pérdida de agua, nutrientes y sedimentos en el ecosistema (Rodríguez-Caballero et al., 2015).

Todo ello ha llevado a pensar que los efectos positivos de las interacciones de la costra biológica con las plantas pueden emplearse en la restauración de suelos en ecosistemas semiáridos, en los que hayan convivido anteriormente CBS y plantas.

Dentro de la costra biológica, las cianobacterias juegan un papel muy importante ya que tienen una gran habilidad para sobrevivir en ambientes de alto estrés hídrico y salino y toleran altas temperaturas e insolación. Las cianobacterias, en comparación a otros organismos fotosintéticos, se pueden desarrollar en ecosistemas muy diversos, especialmente en ambientes extremos (suelos áridos y alcalinos).



9. Conclusiones: Gran futuro

Como se ha visto en los apartados anteriores, la Costra Biológica del Suelo (CBS) juega un papel muy importante en la estructura y funcionamiento del suelo. En cuanto a la biodiversidad, la CBS se presenta como un sistema modelo idóneo para ampliar el conocimiento acerca de la relación biodiversidad-funcionamiento del ecosistema (Bowker et al. 2010).

A diferencia de otros organismos del suelo, algunos grupos que componen la CBS son visibles, lo que facilita su manejo. Además la facilidad de manipulación en experimentos y estudios observacionales de algunos componentes de la CBS ha hecho que sea posible conocer mejor su papel en el funcionamiento del ecosis-

tema, ya sea en el comportamiento del agua (escorrentía, infiltración, etc), biodiversidad, o estabilidad del suelo, así como su contribución en los ciclos bioquímicos del C y N, y en los valores de fotosíntesis neta del ecosistema.

Los resultados de los distintos estudios realizados, dependerán en gran medida de la composición de la CBS, ya que puede hacer que varíen los resultados en cuanto a la estabilización y protección del suelo, fijación de C o N, etc.

A pesar de la importancia potencial de la CBS en los ciclos de C en todas las escalas, todavía hay pocos datos cuantitativos para comprender su función (Sancho et al. 2016).

Como consecuencia de los estudios realizados a macroescala, en los próximos años se irán obteniendo distintos resultados que ayuden a conocer mejor el comportamiento de la CBS en el ecosistema, gracias a un mayor número de datos cuantitativos que permitan conocer el alcance de su influencia en el medio ambiente.

Bibliografía

Blaire, Steven, Lionard, Marie, Kuske, Cheryl R., Warwick, F. Vincent. (2013). High Bacterial Diversity of Biological Soil Crusts in Water Tracks over Permafrost in the High Arctic Polar Desert

Castillo-Monroy, Andrea P., Maestre, Fernando T. (2011). Tesis Doctoral: La costra biológica del suelo- Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica.

Darby, Brian J., Neher, Deborah A., Belnap, Jayne. (2009). Impact of biological soil crusts and desert plants on soil microfaunal community composition.

Delgado-Baquerizo, M., Maestre, Fernando T., Eldridge, David J., Bowker, Matthew A., Ochoa, Victoria, Gozalo, Beatriz, Berdugo, Miguel, Val, James and Singh, Brajesh K. (2016). Biocrust-forming mosses mitigate the negative impacts of increasing aridity on ecosystem multifunctionality in drylands.

Lababpour, A. (2016). Potentials of the microalgae inoculant in restoration of biological soil crusts to combat desertification.

Lafuente García-Ubero, Angela. (2019). Tesis Doctoral: Impactos del cambio global en el intercambio de gases suelo-atmósfera y propiedades microbianas en ecosistemas áridos a distintas escalas espaciales.

Rivera Aguilar, Victor, Manuell Cacheux, Irma. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas

Ruprecht, Ulrike, Brunauer, Georg, Türk, Roman. (2014). High photobiont diversity in the common European soil crust lichen *Psora decipiens*.

Sancho, Leopoldo G., Belnap, J., Colesie, C., Raggio, J., and Weber B. (2016). BIOCRUST Chapter15, Carbon Budgets of Biological Soil Crusts at Micro-, Meso-, and Global Scales.

Zheng, Lingjuan, Peer, Thomas. (2017). Disturbance and recovery of Biological Soil Crusts (BSCs) in the high alpine region of the Hohtor (Grossglockner, Austria).