

Conservación

de las costras biológicas en suelos agrícola de Cienfuegos, promoviendo sostenibilidad y salud de los ecosistemas

Recibido: 20/09/24
Aceptado: 25/04/25
Publicado: 06/05/25

Conservation of biological crusts in agricultural soils in Cienfuegos, promoting sustainability and ecosystem health

Juana Areli Díaz Jauregui¹

E-mail: adiasja@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0277-2340>

Olimpia Nilda Rajadel Acosta²

E-mail: nrajadel@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2322-1362>

Nelson Arsenio Castro Perdomo²

E-mail: ncaastro@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6939-9473>

Aimee Valle Pombrol³

E-mail: aimee@gestion.ceac.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7843-7542>

Angel Ramón Moreira González²

E-mail: angel@gestion.ceac.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9638-2602>

¹ Hospital Pediátrico Universitario "Paquito González Cueto" de Cienfuegos.

² Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"

³ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC)

* Autor para la correspondencia:

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Díaz Jauregui, J. A., Rajadel Acosta, O. N., Castro Perdomo, N. A., Valle Pombrol, A. y Moreira González, A. R. (2025). Conservación de las costras biológicas en suelos agrícola de Cienfuegos, promoviendo sostenibilidad y salud de los ecosistemas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 13, e765. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/765>

RESUMEN

Las costras biológicas del suelo (CBS) están constituidas por un conglomerado de microorganismos, que viven en asociación simbiótica. Este consorcio microbiano brinda beneficios a la fertilidad de los suelos, y capacidad para retener agua. Este trabajo tuvo como objetivo fundamental, determinar la composición específica de las costras biológicas en suelos, y fundamentar acciones estratégicas para la conservación de las mismas en la cooperativa de producción agropecuaria "Mártires de Barbados" de la provincia de Cienfuegos, Cuba. Para el muestreo de las costras se aplicaron tres transeptos, en los cuales fueron situados tres puntos de colecta, a una distancia de 5-10 metros entre sí. En cada tapete se determinó el porcentaje de cobertura de costras con el empleo de una cuadrícula, y se tomaron las muestras a una profundidad de 0-2 cm de la superficie con la ayuda de una espátula. Para la identificación de las especies presentes en las costras se empleó un microscopio estereoscópico y óptico. Entre los resultados de los análisis microscópicos, los musgos predominaron en la entrada de la cooperativa, en un área exenta de cultivos. En el área de sembrado de fruta bomba y sembrado mixto (mango y plátano), predominaron las cianobacterias de los Órdenes Nostocales y Oscillatoriales, respectivamente. Se propusieron medidas o acciones para el cuidado y conservación de las costras biológicas en esta importante zona de producción agrícola.

Palabras Clave:

Cianobacterias, Costras Biológicas, Microscopio, Suelo, Transeptos.

ABSTRACT

Biological soil crusts (BSC) are composed of a conglomerate of microorganisms living in symbiotic association. This microbial consortium provides benefits to soil fertility and water retention capacity. The primary objective of this study was to determine the specific composition of biological soil crusts and to inform strategic actions for their conservation at the agricultural production cooperative "Mártires de Barbados" from Cienfuegos Province, Cuba. Three transects were used to sample the crusts, with three collection points spaced 5-10 meters apart. The percentage of crust coverage in each mat was determined using a grid, and samples were taken at a depth of 0-2 cm from the surface with a spatula. A stereoscopic and optical microscope was used to identify the species present in the crusts. Among the results of microscopic analyses, mosses predominated at the entrance of cooperative, in an area free of crops. In the papaya and mixed plantations (mango and banana), cyanobacteria of the Nostocales and Oscillatoriales orders predominated, respectively. Measures or actions were proposed for the care and conservation of biological crusts in this important agricultural production area.

Key words:

Cyanobacteria, Biological Crusts, Microscope, Soil, Transects.

INTRODUCCIÓN

Durante el devenir de la humanidad, las riberas de lagos y ríos, así como, las áreas costeras constituyen escenarios de asentamiento humano, donde desarrollan sus actividades socio-productivas, entrando en un estrecho vínculo con el ecosistema. Estas zonas proveen de recursos al Hombre y a su vez recibe de manera degradante impactos negativos asociados a su desempeño, trayendo por consecuencia, la degradación del paisaje y desde luego, la afectación a los servicios ecosistémicos que cada sitio brinda.

Cada vez más esta problemática entra en el permanente conflicto desarrollo-uso sostenible de los recursos naturales, donde la actividad agrícola ocupa un importante lugar, sobre todo, como aportadora de alimentos, en un contexto global donde crece la población. Por otra parte, aumenta la contaminación y disminuye la agroproductividad de los suelos, marcado por los efectos de un pujante cambio climático que amenaza con la desaparición constante de la biodiversidad, poniendo en riesgo la supervivencia en el planeta (Ren et al., 2024).

En este complejo entramado de causas y consecuencias, se evidencian procesos naturales que pudieran considerarse como una respuesta de rechazo a esa expresión de destrucción antes referida y entre estos se encuentra la aparición de conglomerados como bioindicadores de procesos de degradación de suelos, comúnmente conocidos como costras biológicas de suelos (CBS). Estos viven en la parte superficial de la corteza terrestre del suelo biológicamente activa (entre 0-2 mm), y son estimulados por la humedad y materia orgánica (Tucker et al., 2020).

Las CBS crecen como una comunidad biótica formada por la íntima asociación entre especies de cianobacterias, algas, hongos, líquenes, hepáticas, briofitas y nitrobacterias. Estos conglomerados juegan un papel importante en el ciclo hidrológico, permiten una mayor infiltración y retención de la humedad. Las costras biológicas participan en dos procesos importantes, la fijación de nitrógeno y en el ciclo del carbono. También tienen influencia en la estabilidad de la materia orgánica y en la disponibilidad de elementos minerales como el manganeso, calcio, potasio, magnesio y fósforo (Muñoz-Rojas et al., 2021).

A propósito el ordenamiento de la cuenca hidrográfica, como principal unidad geográfica territorial, será el escenario obligado del accionar bajo un ordenamiento seguro, que responda a la salud ambiental local. Este último necesita principios, enfoques y mecanismos de articulación, encontrado en el manejo de zonas costeras, que por su concepción coloca al gobierno como el ente rector de dicho manejo y desde ese enfoque, la implicación a la generalidad de los actores, tanto objetos como sujetos de todos y cada uno de los procesos dentro de la zona costera en la cuenca (Abad-Salazar et al., 2015).

El presente trabajo se enmarca en la perspectiva de conocer y poder utilizar en nuestro país las bondades de los conglomerados de CBS. Todo esto siempre bajo la observancia de acciones equilibradas entre lo económico, ambiental y social. En este contexto, el objetivo general

de esta investigación fue identificar los tipos de costras biológicas en suelos de uso agrícola y fundamentar acciones estratégicas para la conservación de las mismas en la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados” desde un enfoque de manejo integrado de cuencas y áreas costeras.

MATERIALES Y MÉTODOS

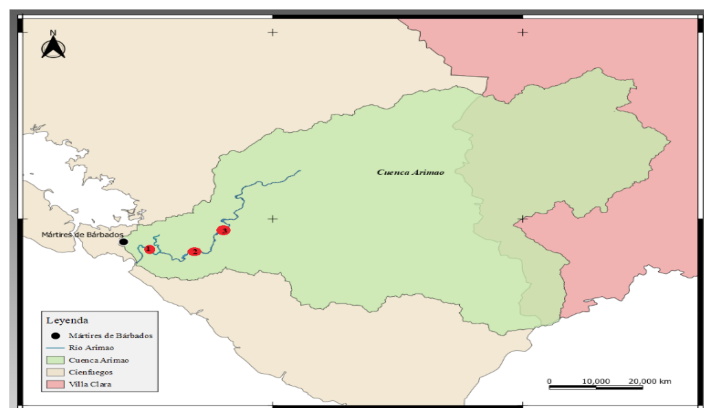
La investigación se desarrolló en el mes de mayo de 2022, en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) “Mártires de Barbados”, ubicada en el Consejo Popular “Rancho Luna” del municipio Cienfuegos (Fig. 1). Se seleccionaron tres puntos de colecta: el punto 1, ubicado en la entrada de la CPA (22.05005°N y 80°.24115°W); el punto 2, ubicado en un área de cultivo de fruta bomba (*Carica papaya* Lin.) (22.04052°N y 80.2976438°W); y el punto 3, ubicado en un área de cultivo mixta de mango (*Mangifera indica* Lin.) y plátano (*Musa* spp.) (22.0380400°N y 80.3881779°W).

Para conocer la cultura existente sobre las costras biológicas del suelo (CBS) en la cooperativa, se aplicó una entrevista a los productores. Basado en un cuestionario con 15 interrogantes, cuyas respuestas se calificaron con el empleo de la escala Likert (1-4), donde 1 representa el menor conocimiento y el 4 el mayor conocimiento. La información captada se organizó en hojas Excel, lo que permitió elaborar la base de datos requerida para su análisis y procesamiento estadístico a través del SPSS v.21.

El muestreo de las CBS, se realizó, planificando dos visitas de campo a las áreas agrícolas. Se aplicaron tres transectos, en los cuales fueron situados tres puntos de colecta a una distancia de 5-10 metros entre sí. Se tomaron las muestras a una profundidad 0-2 cm de la superficie con la ayuda de una espátula. En cada tapete de CBS se determinó el porcentaje de cobertura con el empleo de una cuadrícula de 25 X 25 cm. Para determinar el mismo, se empleó la siguiente expresión:

$$\% \text{ de Cobertura} = (\text{cantidad de \% de cobertura de las costras biológicas} = \text{cantidad cuadrículas cubiertas} / \text{cantidad total de cuadrículas}) * 100$$

Fig. 1. Ubicación de los puntos de colecta en la CPA “Mártires de Barbados”.



Fuente: Elaboración propia. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

Cada muestra de CBS fue colocada en una placa de Petri estéril, previamente rotulada y colocada en el termo para su protección y traslado hacia el laboratorio. Inicialmente, se hizo una observación en el estereoscopio para identificar y clasificar los organismos por su color o forma. Para la observación al microscopio óptico compuesto, se utilizó un tubo de ensayo de cristal estéril con 1ml de agua destilada, y con una espátula pequeña se tomó una muestra de la costra y se añadió en el tubo.

De la preparación de la suspensión, se añadió una gota en un portaobjeto y se observó a 40X (lente objetivo) y 10X (lente ocular). Se tomaron algunas microfotografías con el lente ocular 10X. Para la identificación taxonómica, y se consultó la literatura especializada (Comas-González (2022); Comas-González et al. (2022)). Las muestras fueron preservadas en formaldehído al 4%, para posteriores estudios taxonómicos.

Con el objetivo de investigar la presencia de bacterias nitrificantes, una porción de la muestra de las costras fue inoculada en placas Petri con diferentes medios de cultivo sólidos (Agar-Sangre y Agar-MacConkey). Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas.

En la elaboración de la propuesta de manejo integrado para el cuidado y conservación de las CBS, se tomaron en consideración los análisis realizados derivados del estudio de campo y de laboratorio, así como el criterio expresado por

los productores y decisores de la cooperativa en el trabajo grupal desarrollado. Todo esto, con el fin de identificar las barreras del entorno para la implementación del manejo integrado; así como para lograr la preservación y protección de las CBS y el agua de la cuenca Arimao. Seguidamente, cada integrante del grupo visualizó de forma preliminar las acciones generales correspondientes a cada una de las barreras. La información antes mencionada se ordenó en formato de tabla.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la fase de gabinete para la gestión de CBS en la CPA "Mártires de Barbados"

Los resultados sobre el nivel de conocimientos en los productores, acerca de las costras biológicas del suelo (CBS), y uso agrícola, se muestran en la Tabla 1. Estos resultados evidenciaron el escaso conocimiento sobre las CBS, por parte de los productores y directivos de la Cooperativa objeto de estudio. En este sentido, Jech et al. (2023), consideraran que se hace necesario difundir y socializar en las comunidades agrícolas la importancia de las costras biológicas para mejorar las propiedades del suelo. Igualmente, Braz et al. (2020), hacen referencia a la importancia de trazar estrategias de comunicación, información y capacitación de los actores sociales de las cooperativas agropecuarias, basado en buenas prácticas agroecológicas.

Tabla 1. Resultados de la entrevista aplicada a los productores de la Cooperativa sobre CBS.

No	Interrogantes	Calificación		
		% SI	% NO	
1	¿Dónde se observa la presencia de costras biológicas de suelo?	a. Conoce Ud dónde se encuentran superficies con presencia de costras biológicas en la CPA?	13	87
		b. Conoce cómo se manifiestan a la vista las CBS en las áreas de uso agrícola?	33	67
2	¿Cuáles son las características / elementos principales a tomar en consideración para determinar la presencia de CBS?	a. Observar su apariencia (forma y color)	20	80
		b. Acumulación de tapetes en la capa superficial del suelo.	20	80
3	¿Conoce Ud los beneficios para los suelos que se le atribuyen a las CBS?.		40	60

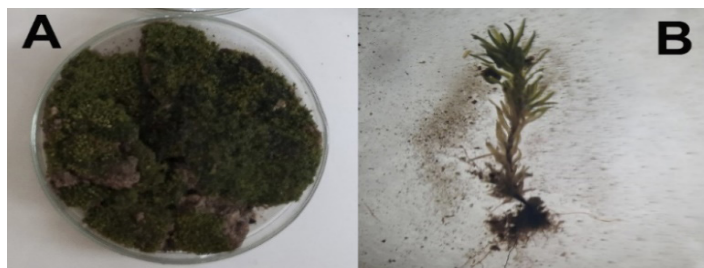
Fuente: Elaboración propia. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

Presencia de los grupos y especies predominantes en costras biológicas de suelo en el área de estudio

Durante el monitoreo, en el Punto 1 (Entrada de la Cooperativa) se registró un predominio de aproximadamente 70 - 80 % de cobertura de costras biológicas de suelos (CBS). Las observaciones al estereoscopio y microscopio óptico, mostraron un predominio de musgos en las muestras (Fig. 2). El punto 1 corresponde a una de las zonas más áridas por estar desprovistas de sembrados. A propósito, Gufwan et al. (2025), han realizado varios estudios, evidenciado la importancia de los musgos en la retención de agua y partículas de suelos en zonas áridas a nivel

global. También, Wang et al. (2022), documentan el aporte positivo de la inoculación de las biocostras dominadas por musgos en el incremento de la restauración de los suelos y de la fertilidad de cultivos tropicales como el maíz (*Zea mays* L. Por lo que se deberá profundizar en el conocimiento sobre la diversidad de musgos y sus potencialidades de uso como biofertilizantes en esta área agrícola de la provincia de Cienfuegos.

Fig. 2. Costras biológicas de suelo y grupos/especies dominantes en el Punto 1. A. Biocostra típica del Punto. B. Musgo.



Fuente: Elaboración propia. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

En el Punto 2 (Sembrado de fruta bomba), se registró un porcentaje de cobertura de CBS entre 35-50%. Los tapetes de costras estuvieron dominados por cianobacterias, especialmente por el género *Nostoc* (*Nostoc* sp.) (Fig. 3). Este es un género perteneciente al Orden Nostocales, que se caracteriza por presentar células diferenciadas denominadas heterocitos, que cumplen la función de fijar nitrógeno atmosférico. Los trabajos de Kimura y Okuro (2024), explican que la capacidad de fijar nitrógeno por el género *Nostoc* lo convierte en una cianobacteria muy beneficiosa como aportadora de nutrientes, lo cual incide favorablemente en el desarrollo de los cultivos para la producción de alimentos. Adicionalmente, Rajadel-Acosta y Castro-Perdomo (2021), explican que la presencia de este género de cianobacteria, pudiera estar relacionado con la buena fertilidad en los suelos en esta zona agrícola en particular del centro-sur de Cuba.

Büdel (2016), hace referencia que *Nostoc* es uno de los géneros de cianobacterias más representado y abundante en las CBS a nivel mundial. Por otro lado, Vinoth et al. (2020), y Kart et al. (2023), reportan que las cianobacterias fijadoras no solo aportaron nitrógeno a las plantas, sino que además incrementan la tolerancia de las plantas a la sequía). Por sus propiedades y beneficios, en algunos países las cianobacterias han sido usadas como restauradoras de suelos y biofertilizantes en cultivos de plantas (Ej.: arroz, *Oryza sativa*), y se obtuvieron aumentos significativos de los rendimientos productivos. Otros autores, tales como Maurya et al. (2025), ofrecen sus experiencias sobre el uso de cianobacterias beneficiosas en las fórmulas de biofertilizantes para el cultivo de plantas de interés agrícola, que deberían tenerse en cuenta en el contexto cubano con vistas a mejorar la producción nacional de alimentos.

Hay que destacar que los tapetes de CBS en el Punto 2 presentaron un elevado contenido de humedad, aspecto positivo tanto para los suelos y cultivos de esta área agrícola. Esto está relacionado con la secreción por las cianobacterias de sustancias poliméricas extracelulares, lo cual permite la retención de agua y nutrientes quelantes en la capa superficial de los suelos (Adessi et al., 2018). Es por ello, que la diversidad de estos microorganismos es utilizada como bioindicador de buena calidad de los suelos, lo cual sugiere la necesidad de su conservación y propagación (Karimi et al., 2017).

Fig. 3. Costras biológicas de suelo, por grupos y especies dominantes. Punto 2. A. Biocostra típica del Punto. B. Cianobacteria *Nostoc* sp.



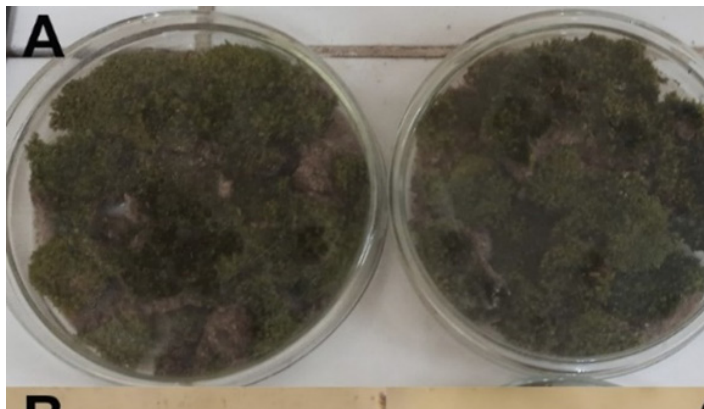
Fuente: Elaboración propia. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

En el Punto 3 (Sembrado mixto de mango y plátano), se registró un porcentaje de cobertura de CBS entre 65-75%. Los tapetes de costras estuvieron dominados por cianobacterias del Orden Oscillatoriales. Las especies de este Orden que estuvieron presentes fueron *Arthrospira* sp. y *Leptolyngbya tenuis* (Fig. 4). Las especies dentro del Orden Oscillatoriales se caracterizan por ser filamentos uniseriados, sin ramificaciones, sin heterocitos ni acinetos. Similares resultados se reportan en otras regiones, principalmente tropicales y subtropicales, donde ambos géneros (*Arthrospira* sp. y *Leptolyngbya tenuis*), demostraron su predominancia en las CBS a nivel global (Mishra et al., 2018; Saber et al., 2022). *Leptolyngbya* es otro de los géneros de cianobacterias que aparece con mayor frecuencia en los reportes a nivel mundial (Samolov et al., 2020). *Leptolyngbya* spp. han sido usados como biofertilizantes con resultados satisfactorios en el crecimiento de plantas en cultivo (Ej: *Helianthus annuus* L.), (Mao et al., 2024), por lo que la importancia de este género también se debería tener en cuenta en proyectos locales sobre el uso de las cianobacterias para la fertilidad de los suelos.

La especie *Leptolyngbya tenuis*, ha sido observada en muestras del Río Arimao, que bordea la superficie agrícola de la Cooperativa objeto de estudio (Valle-Pombrol (comunicación personal). Esto pudiera estar relacionado con los arrastres producidos por las lluvias intensas, asociadas o no a ciclones tropicales, que han dado lugar a inundaciones de las áreas agrícolas por la crecida del río Arimao.

En las muestras del Punto 3, se observaron también diatomeas pennadas, pero menos abundantes en comparación con las cianobacterias del orden Oscillatoriales. Los estudios de Tiwari et al. (2023), reportan que las diatomeas proveen micronutrientes que son de gran importancia al suelo para el crecimiento de las plantas, incrementando su fertilidad y actuando sinérgicamente con el calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). Además, la presencia de diatomeas reduce la lixiviación de fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K), favoreciendo su absorción en las plantas. Actúan también como reconstituyentes en suelos contaminados con metales pesados o hidrocarburos, como neutralizante de la toxicidad por el efecto del aluminio (Al^{3+}) en suelos ácidos.

Fig. 4. Costras biológicas de suelo y grupos especies/dominantes en el Punto 3. A. Biocostra típica del Punto. B-C. Cianobacteria del Orden Oscillatoriales. B. *Arthrospira* sp. C. *Leptolyngbya tenuis*



Fuente: Elaboración propia. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

Cuando se realizó el cultivo microbiológico del Punto 3 (en medios Agar-Sangre y Agar-MacConkey), se observó abundante crecimiento de colonias con características similares a las reportadas para el grupo de las nitrobacterias. El cultivo puro de estas colonias bacterianas Gram negativas, presentaron color rosado, redondas, elevadas, chiclosas. Estas son bacterias nitrificantes clasificadas como organismos quimiolitótrofos obligados, lo que significa que utilizan sales minerales inorgánicas como fuente de energía y por lo general no pueden degradar la materia orgánica sin estos componentes. Estos resultados están en correspondencia con los obtenidos por Han et al. (2018) y Endo et al. (2024), que han reportado que las nitrobacterias están presentes en la mayoría de los suelos bajo cultivo, y juegan un papel importante, tanto en el ciclo del nitrógeno por oxidación de nitritos a nitratos en los suelos.

El hallazgo de estos conglomerados de microorganismos constituye un punto de partida para nuevas investigaciones, proponiéndose que se evalúe de forma más integrada la influencia de los mismos sobre la fertilidad de los suelos y su posible uso como bioindicador de procesos degradativos y de la calidad de los mismos. Además, los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con reportado por otros autores como Lu et al. (2022), y

Gufwan et al. (2025), los cuales hacen referencia a que en sistemas terrestres las CBS son extremadamente útiles, ya que contribuyen a la protección del suelo, lo protegen de la degradación física asociada a la erosión, y, por ende, contribuyen a la mejora de sus condiciones de fertilidad natural.

Por otra parte, a partir de los resultados de la distribución espacial de las CBS en la Cooperativa están en correspondencia con lo reportado por otros autores (Ding et al., 2023). Giraldo-Silva y Masiello (2023), le atribuyen mucha importancia a los factores ambientales, que juegan un papel clave en el control de la composición y diversidad de las CBS.

En el presente estudio, se observó que en las inmediaciones de estructuras verticales de mediano y gran tamaño (Ej: Entrada de la Cooperativa), alrededor de **árboles o arbustos predominaron** los musgos; mientras que en los espacios sin vegetación arbórea predominaron los líquenes (que se presentan como manchas amarillas, marrones y rosáceas). A su vez, las cianobacterias se muestran como manchas verde-negruczas, y predominaron en suelos más productivos con mayor contenido de humedad. A propósito, Maestre (2016), le atribuye mucha importancia a las CBS, que propician un aumento de la escorrentía y de la infiltración en estos microambientes. Dada esta particularidad las CBS, podrían proponerse como bioindicadoras del comportamiento de estos procesos en los suelos de diferentes usos agrícolas y en las cuencas hidrográficas.

Resultados de la elaboración de una propuesta de manejo integrado dirigido al cuidado y conservación de las costras biológicas en suelos de la Cooperativa

Después de analizar el diagnóstico, sobre el nivel de conocimientos existentes entre los productores acerca de las costras biológicas de suelos (CBS), y los resultados biológicos de campo y laboratorio, se propusieron acciones en correspondencia con las barreras visualizadas y seleccionadas por los productores y decisores. Es de destacar, la importancia que tuvo el trabajo grupal realizado para los resultados alcanzados. Entre los resultados notorios, se destacó la necesidad de la capacitación de los recursos humanos y la socialización de la información, como vías para lograr que se puedan implementar las acciones propuestas. También, se propuso la aplicación de acciones que contribuyan a articular a los productores con los centros de investigación, de conocimientos y de información a cualquier nivel (Tabla 2). Resultados similares han evidenciado que estas acciones demandarán la captación de financiamiento a través de proyectos de investigación y de innovación u otras fuentes disponibles (UNDP, 2023).

Como aspecto a destacar, surgió la necesidad de la participación conjunta de actores y usuarios de los servicios y recursos de las cuencas. Todo esto, hará posible la aplicación de todas las acciones técnicas directas e indirectas que la misma requieran para alcanzar los objetivos propuestos en la presente investigación. Estos resultados coinciden con otros reportados en la región (SCR, 2010), y por González-Díaz et al. (2015), los cuales plantean que, para lograr una correcta planificación de las acciones, tendrán que manejarse los recursos encontrados en la cuenca si se propone su uso de manera racional. Esto constituye la base del enfoque sustancial de integrar el manejo de cuencas con las CBS, lo cual estará dirigido a lograr la identificación de los beneficios o aportes que estos organismos ofrecen al ecosistema o al medio ambiente en general.

Para lograr lo antes referido, es preciso capacitar al hombre, fortalecerlo en su capacidad de gestión y sobre todo, lograr que sean capaces de crear alternativas para la mejora de los recursos naturales. Es imprescindible el conocimiento de las CBS a nivel específico para la gestión y conservación de estos organismos en los ecosistemas agropecuarios, ubicados en las cuencas y zonas costeras (GWP, 2014, GWP-C, 2015).

Del proceso de validación práctica de la propuesta se evidenció el criterio unánime de los participantes en el taller, respecto a considerar las acciones con total pertinencia, coherencia y factibilidad para los propósitos que se elaboró (Tabla 2). Autores como Lucio-Villacreses et al. (2024), destacan que los elementos asumidos en la propuesta son oportunos e inciden sobre los aspectos básicos o fundamentales relacionados con la implementación de acciones que contribuyan a la mitigación de impactos sobre las CBS

y los ecosistemas de la cuenca hidrográfica. Además, se apreció total coherencia entre los criterios y los impactos identificados en la Cooperativa estudiada, por lo cual las acciones propuestas serían fáciles de aplicar a nivel de esta unidad agrícola. Estos resultados están en consonancia con investigaciones sobre manejo integrado de cuencas y zonas costeras en la región del Caribe (McIntosh y Leotaud, 2007).

Tabla 2. Resultados de la elaboración de la propuesta de manejo integrado para el cuidado y preservación de las CBS en la Cooperativa.

Barreras del entorno para la implementación del manejo integrado para preservación y protección de especies predominantes en costras biológicas de suelos (CBS) de la Cuenca Arimao	Acciones generales que son visualizadas de manera preliminar por los productores que identificaron las barreras
Barreras políticas e institucionales	
Débil conocimiento del aporte de las CBS para contrarrestar el efecto de los procesos de degradación de suelos.	Realizar evaluaciones sobre el estado de la degradación de suelos y calidad del agua para riego en áreas piloto. Identificar buenas prácticas de manejo integrado para la preservación y protección de las CBS.
Débil conocimiento y divulgación del enfoque de Manejo Integrado de Cuencas y Zonas Costeras (MICAC) que contribuye a la conservación de las CBS de uso agrícola.	Diseñar con base en la experiencia, distintas herramientas de socialización y divulgación del enfoque de MICAC y de las prácticas de conservación de las CBS de uso agrícola.
Desarticulación de políticas sectoriales e intersectoriales	Apoyar la incorporación de evaluaciones sobre el estado de la degradación de suelos y calidad del agua para riego en áreas piloto. Así como, instrumentos de política para la conservación de las CBS identificadas en suelos de uso agrícola y agua de riego en Programas para el Desarrollo Agropecuario y Ambiental.
	Promover la articulación interinstitucional e intersectorial a través la realización de eventos para socializar y/o consolidar avances en estudios acerca de las CBS y el MICAC.
Barreras económicas, de financiamiento e incentivos	
Las entidades agropecuarias locales no cuentan con los recursos suficientes que les permitan ampliar el conocimiento acerca del empleo de las CBS como bioindicadores de procesos de degradación de suelos; así como, su aplicación biotecnológica como biofertilizantes.	Apoyar la formulación de proyectos que contribuyan a la aplicación biotecnológica de las CBS como mejoradores de propiedades de suelos frente al estado de degradación de estos; así como prácticas de manejo integrado de cuencas; entre otros.
No se cuentan con recursos e incentivos para la evaluación de la sostenibilidad de prácticas de manejo integrado de cuencas y zonas costeras donde se identifique la presencia de CBS.	Apoyar el fortalecimiento de los criterios técnicos para otorgar créditos al sector agropecuario de tal forma que se incentive el MICAC y las acciones de preservación de las CBS con efecto positivo en propiedades del suelo de uso agrícola y el agua para el riego agrícola.
Barreras de planificación territorial	
No se aplican de forma sistemáticas herramientas para la evaluación de la degradación de suelos por usos agropecuarios, por lo que no están definidas e incorporadas en lineamientos de planificación y ordenamiento del sector agropecuario y ambiental.	Avanzar en el proceso de análisis de metodologías existentes para la evaluación de la degradación de suelos y la clasificación taxonómica de CBS. De tal forma, lograr que se avance en la consolidación de lineamientos que contribuyan al manejo integrado para la preservación y protección de las CBS que sirvan como bioindicadoras de procesos de degradación de suelos.
Se cuenta con una experiencia importante en la implementación de programas y proyectos encaminados a la implementación del MICAC y de buenas prácticas o herramientas de manejo integrado. No obstante, no se socializan ni sistematizan y además no se cuenta con un sistema de información que las consolide.	Promover y articular sistemas de información institucionales y locales relacionados con el MICAC y las prácticas de manejo integrado para la preservación y conservación de las CBS. Así como, para la elaboración de biofertilizantes apoyado en la biotecnología.

Barreras tecnológicas, de conocimiento y culturales	
El sistema de información del estado y monitoreo de los recursos naturales es muy incipiente.	Promover espacios interinstitucionales para analizar posibilidades de articulación entre los sistemas de información ambiental y agropecuario de las entidades agropecuarias. Establecer alcances de los procesos y actividades de investigación; así como. de monitoreo agropecuario y ambiental. Evidenciar alternativas de articulación a diferentes niveles, con énfasis en lo local de la información de las actividades y prácticas desarrolladas.
Los sistemas de información ambiental y agropecuario están desarticulados a nivel local.	
No se cuenta con un sistema de información y monitoreo del sector agropecuario: nacional, regional y local	
El sector agropecuario desaprovecha las potencialidades de la articulación con entidades que producen información y los centros de investigación.	Promover la implementación de la evaluación e investigación en prácticas y tecnologías de manejo integrado, así como espacios de extensión y asistencia técnica en el enfoque del MICAC.
No se cuenta con una delimitación clara de la estructura ecológica principal (nacional, regional, local), lo cual dificulta la toma de decisiones y el enfoque de manejo integrado; relaciones funcionales ecosistémicas de las CBS, etc	Compartir los resultados de las evaluaciones que se realicen a nivel local, enfatizando las escalas de toma de decisión que pudieran estar relacionadas con el MICAC, en lo que atañe a áreas de provisión y regulación de servicios ecosistémicos, etc.

Fuente: Elaboración propia. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en suelos de uso agrícola de la CPA “Mártires de Barbados”, arrojó la presencia diversos organismos y microorganismos beneficiosos para la fertilidad de los suelos. Los resultados evidenciaron que los factores micro-ambientales juegan un papel clave en el control de la composición y diversidad de las CBS. En las áreas exento de cultivos (entrada de la Cooperativa, predominaron los musgos y líquenes; mientras que en áreas de producción agrícola predominaron las cianobacterias de los Ordenes Nostocales y Oscillatoriales, beneficiosas por su aporte de nutrientes a los suelos. La propuesta de manejo integrado intencionado a la preservación y protección de las CBS identificadas en suelos de la CPA “Mártires de Barbados”, demanda la necesidad de la participación conjunta de actores y usuarios de los servicios y recursos de la cuenca Arimao; así como, del análisis de la importancia del Manejo Integrado de Cuencas y Áreas costeras y su relación con las CBS, con enfoque sustancial de integración, para identificar los beneficios o aportes que estos organismos realizan a los recursos naturales y al ambiente en general de las cuencas. Se recomienda poner a disposición de los decisores, los resultados de esta investigación, para el trazado de estrategias futuras en función de un desarrollo sostenible en comunidades costeras que tengan dentro de su base económica la producción agropecuaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad-Salazar M.A., Beatón-Soler P.A., Angulo-Valdés J.A., Cabrera-Hernández J.A., Carballo-Díaz Y., Castellanos-González M.E., Díaz-López C., Díaz-González B., Gómez-Luna L., González-Díaz P., González-Piedra I., González-Sansón G., Iturralde-Vinent M.A., Machín J.L. Milanés-Batista C., Miranda C.E., Monzón-Bruguera Y. (2015). *Manejo Integrado de Zonas Costeras en Cuba. Estado actual, retos y desafíos* (Imagen Con). Casa de Altos Estudios Don Fernando Ortiz, Universidad de La Habana.

- Adessi, A., de Carvalho, C.R., De Philippis, R., Branquinho, C., da Silva, M.J. (2018). Microbial extracellular polymeric substances improve water retention in dry land biological soil crusts. *Soil Biology and Biochemistry*, 116, 67-69.
- Braz, A., Mirandola-García, P.H., Pinto, A.L., Salinas-Chávez, E., de Oliveira, I.J. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29 (1), 69-85. Doi: [10.15446/rcdg.v29n1.76232](https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232).
- Büdel, B., Dulic, T., Darienko, T., Rybalka, N., Friedl, T. (2016). *Cyanobacteria and algae of biological soil crusts*. In: B. Weber, B. Büdel, L.J. Belnap (Eds). *Biological Soil Crusts: An organizing principle in Drylands* (pp. 55-80). Springer Cham.
- Comas-González, A.A. (2022). *Cianobacterias formadoras de florecimientos en aguas dulces de Cuba*. Proyecto IWEco.Cuba. ISBN 978-959-234-155-5.
- Comas-González, A.A.; Uriza-Hernández, S.; Toledo-Iser, L. (2022). *Cianoprocaritas y microalgas dulciacuícolas de Cuba. Catálogo ilustrado*. Proyecto IWEco.Cuba. ISBN 978-959-234-157-9.
- Ding, Y., Geng, Y., Zhou, W., Li, D. (2023). Habitat-specific environmental factors regulate the spatial variability of biological soil crust microbial communities on the Qinghai-Tibet Plateau. *Science of The Total Environment*, 901, 165937. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165937>.
- Endo, Y., Fujitani, H., Kaneko, A., Ninomiya, T., Umezawa, C., Kuroiwa, M., and Suwa, Y. (2024). Isolation of a Moderately Acidophilic *Nitrobacter* from a Nitrifying Community Supplied with Urea. *Microbes and Environments*, 39, ME24027. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME24027>.

- Giraldo-Silva A., Masiello C. (2023). Environmental conditions play a key role in controlling the composition and diversity of Colombian biocrust microbiomes. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1236554>.
- Global Water Partnership (GWP). (2014). *Integrated water resources management in the Caribbean: The challenges facing Small Island Developing States*. Global Water Partnership.
- Global Water Partnership Caribbean (GWP-C). 2015. *Sustainability of Integrated Water Resources Management Initiatives in the Caribbean*. Global Water Partnership-Caribbean.
- González-Díaz, P. (coordinadora), Colectivo de autores. (2015). *Manejo Integrado de Zonas Costeras de Cuba: estado actual, retos y desafíos*. Editorial Imagen Contemporánea.
- Gufwan, L.A., Peng, L., Gufwan, N.M., Lan, S., Wu, L. (2025). Enhancing soil health through biocrusts: a microbial ecosystem approach for degradation control and restoration. *Microbial Ecology*, 88 (1), 8. <https://doi.org/10.1007/s00248-025-02504-5>.
- Han, S., Li, X., Luo, X., Wen, S., Chen, W., & Huang, Q. (2018). Nitrite-oxidizing bacteria community composition and diversity are influenced by fertilizer regimes, but are independent of the soil aggregate in acidic subtropical red soil. *Frontiers in Microbiology*, 9, 885. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00885>.
- Jech S.D., Day N., Borges N., Antoninka A., Bowker M., Reed S.C., Tucker C. (2023). Cultivation resilience in dryland soils: an assisted migration approach to biological soil crust restoration. *Microorganisms*, 11 (10): 2570. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102570>.
- Karimi, B., Maron, P.A., Boure, N.C.-P., Bernard, N., Gilbert, D., Ranjard, L. (2017). Microbial diversity and ecological networks as indicators of environmental quality. *Environmental Chemistry Letters*, 15, 265–281.
- Kimura, K., Okuro, T. (2024). Cyanobacterial biocrust on biomineralized soil mitigates freeze-thaw effects and preserves structure and ecological functions. *Microbial Ecology* 7(1). <https://doi.org/10.1007/S00248-024-02389-w>.
- Kurth, J.K., Albrecht, M., Glaser, K., Karsten, U., Vestergaard, G., Ambruster, M., Kublik, S., Schmid, C.A.O., Shloeter, M., Schulz, S. (2023). Biological soil crusts on agricultural soils of mesic regions promote microbial cross-kingdom co-occurrence and nutrient retention. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1169958. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1169958>.
- Lu, Q., Xiao, Y., Lu, Y. (2022). Employment of algae-based biological soil crust to control desertification for the sustainable development: a mini-review. *Algal Research*, 65, 102747. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102747>.
- Lucio-Villacreses, L.F., Caicedo-Alvarez, M.E., Tapia-Zuñiga, L., Piñargote-Choez, J.S., Guerrero-Calero, J.M., Cabrera, R., Morán-Gonzalez, M.R., Zapata-Velasco, M.L., Ganchozo-Quimis, M.T., Pardo-Reyes, P.S., Cruz-Macias, B., Mielles-Giler, J.W., Manrique-Toala, T.O. (2024). *Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas*. Editorial Sinapsis. ISBN: 978-9942-638-08-3. <https://doi.org/10.37117/ES.75>.
- Mao, Q., Xie, Z., Pinzon-Nuñez, D.A., Issaka, S., Liu, T., Zhang, L., Irshad, S. (2024). *Leptolyngbya* sp. XZMQ and *Bacillus* XZM co-inoculation reduced sunflower arsenic toxicity by regulating rhizosphere microbial structure and enzyme activity. *Environmental Pollution*, 341, 123001. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123001>.
- Maurya, N., Sharma, A., Sundaram, S. (2025). Enhancement of soil fertility utilizing cyanobacteria- bacteria consortia. *Journal of Applied Phycology*. <https://doi.org/10.1007/S10811-024-03437-1>.
- Maestre F.T., Bowker M.A., Eldridge D.J., Cortina J., Lázaro R., Gallardo A. & Valencia E. (2016). Biological soil crusts as a model system in ecology. En: *Biological soil crusts: An organizing principle in drylands*. Berlin, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30214-0_20.
- McIntosh, S., Leotaud, N. (2007). Fair deals for watershed services in the Caribbean. Natural Resource Issues No. 8. International Institute for Environment and Development. London, UK.
- Mishra, A.K., Tiwari, D. N., & Rai, A. (Eds.). (2018). *Cyanobacteria: from basic science to applications*. Academic Press.
- Muñoz-Rojas M., Machado- De Lima N.M., Chamizo S., Bowker M.A. (2021). Restoring post-fire ecosystems with biocrusts: Living, photosynthetic soil surfaces. *Current Opinion in Environmental Science* 23, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.coes.2021.100273>.
- Rajadel Acosta, O.N., Castro Perdomo, N.A. (2021). Programa de acciones y alternativas de mejoras para mitigar la erosión en la C,operativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 49-56.
- Ren Y., Zhang B., Chen X., Liu X. (2024). Analysis of spatial-temporal patterns and driving mechanisms of land desertification in China. *Science of The Total Environment* 909: 168429. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168429>.

Saber, A.A., El-Refaey, A.A., Saber, H., Singh, P., van Vuuren, S.J., & Cantonati, M. (2022). Cyanoprokaryotes and algae: classification and habitats. In *Handbook of Algal Biofuels* (pp. 1-38). Elsevier.

Samolov, E., Baumann, K., Büdel, B., Jung, P., Leinweber, P., Mikhailyuk, T., Karsten, U., Glaser, K. (2020). Biodiversity of algae and cyanobacteria in biological soil crusts collected along a climatic gradient in Chile using an integrative approach. *Microorganisms*, 8(7), 1047. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071047>.

Secretaría de la Convención de Ramsar (SCR). (2010). Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4^a edición, vol. 9. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Tiwari, A.; Pandey, A.; Show, P-L.; Binod, P. (2023). *Diatoms: Ecology and Biotechnological Applications*. Routledge/Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003322115>.

Tucker, C., Antoninka A., Day N., Poff B., Reed S.C. (2020). Biological soil crust salvage for dryland restoration: an opportunity for natural resource restoration. *Restoration Ecology*, 28 (S2). <https://doi.org/10.1111/rec.133115>.

UNDP (United Nations Development Programme). (2023). Integrated community-based water and land management: Experiences from the Caribbean. Small Grants Programme, United Nations Development Programme.

Vinoth, M., Sivasankari, S., Khaleel-Ahamed, A.K., Al-Arjani, A-B.F., Abd_Allah, A.F., Baskar, K. (2020). Biological Soil Crust (BSC) is an effective Biofertilizer on *Vigna mungo* (L.), *Saudi Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.04.022>.

Wang, W., Su, Y.Z., Wang, B.Z., Zhou, R., Ullah, A., Zhao, Z.Y., Wang, P.Y., Xiong, Y.C. (2022). Biocrusts as a nature-based strategy (NbS) improve soil carbon and nitrogen stocks and maize productivity in semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 270, 107742. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107742>.