

Biocostras: protectoras naturales del suelo frente a la desertificación

Resumen

Las biocostras del suelo son comunidades vivas formadas por organismos como cianobacterias, algas, bacterias heterótrofas, arqueas, hongos, líquenes y musgos que cubren la superficie del suelo en zonas áridas y semiáridas. Aunque a simple vista parezca únicamente una costra sobre el suelo sin mayor función, en realidad son comunidades vivas que protegen el suelo de la erosión, conservan la humedad, retienen nutrientes, fijan nitrógeno atmosférico y capturan carbono para transformarlo en materia orgánica. Gracias a estas funciones, las biocostras son fundamentales para mantener la salud del suelo y permitir que otras formas de vida se desarrollen. Sin embargo, estas comunidades son extremadamente frágiles, una simple pisada, el rodamiento de una bicicleta o el paso del ganado pueden destruir en segundos lo que tomó décadas en formarse. A ello se suman amenazas como el pastoreo intensivo, la expansión urbana y el turismo sin regulación, que junto con los efectos del cambio climático están acelerando su deterioro. Actualmente, la investigación científica explora el potencial biotecnológico de las biocostras para restaurar suelos degradados. En algunos estudios, estas comunidades microbianas se cultivan en condiciones controladas y luego se trasladan al campo para favorecer la recuperación del terreno. Proteger y aprovechar el potencial ecológico de las biocostras resulta fundamental para combatir la desertificación y preservar la salud de los ecosistemas áridos.

Palabras clave: Biocostra, zonas áridas, restauración ecológica, cambio climático.

Introducción

Cuando caminamos por zonas áridas o desérticas, muchas veces observamos el suelo agrietado, rocoso o cubierto por una capa endurecida cuyos colores pueden variar desde tonos claros hasta oscuros. A simple vista puede parecer solo suelo compacto y seco, pero esa delgada capa esconde un ecosistema vivo: la costra biológica del suelo, o también llamada biocostra. Se trata de una comunidad formada por distintos organismos como cianobacterias, algas, bacterias heterótrofas, arqueas, hongos, líquenes y musgos que se organizan sobre la superficie

Zilia Yanira Muñoz-Ramírez¹.

Román González-Escobedo².

- (1) Facultad de Ciencias Químicas
- (2) Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Recibido: 10 de agosto de 2025

Aceptado: 10 de septiembre de 2025

del suelo y cumplen funciones fundamentales para su protección y fertilidad (García-Pichel, 2023).

Durante mucho tiempo, las biocostras fueron ignoradas por la ciencia y por la mayoría de las personas que transitan los desiertos, pues su apariencia discreta las hacía pasar desapercibidas. Sin embargo, las biocostras constituyen un componente esencial, ya que aportan significativamente a la fertilidad y estabilidad del suelo. Su presencia ayuda a mantener procesos ecológicos fundamentales en ambientes donde pocas formas de vida pueden prosperar. Frente a escenarios futuros de cambio climático, en los que se prevé una modificación en los patrones de precipitación, el papel de las biocostras se vuelve aún más relevante, pues podrían amortiguar los efectos del deterioro del suelo y contribuir a la resiliencia de los ecosistemas áridos y semiáridos (Belnap *et al.*, 2004).

Desarrollo

¿Qué es una biocostra?

La palabra “biocostra” se refiere a una capa delgada y compacta que se forma en la superficie del suelo gracias a la activi-

dad de organismos vivos (Figura 1). A diferencia de una costra mineral, la biocostra está compuesta por seres vivos microscópicos y macroscópicos que crean una estructura que protege el suelo y favorece su estabilidad. Esta estructura no solo depende de la presencia de los organismos, sino también de las sustancias que secretan, como los exopolisacáridos, compuestos extracelulares que contribuyen a la adhesión de las partículas del suelo y al mantenimiento de la integridad física de la biocostra.

Destacan las cianobacterias por su capacidad para realizar fotosíntesis y fijar nitrógeno, acompañadas de



Figura 1. Biocostra del suelo.

para realizar fotosíntesis y fijar nitrógeno, acompañadas de

otros microorganismos y organismos fotosintéticos que conforman la biocostra, los cuales se entrelazan formando una red que fija las partículas del suelo, reduce la erosión y permite que el agua se infiltre más lentamente (Weber *et al.*, 2022). Un ejemplo representativo es *Microcoleus vaginatus*, una cianobacteria filamentosa dominante en biocostras de zonas áridas, cuyas filamentos se entrelazan y secretan exopolisacáridos que actúan como una matriz cohesiva. Esta estructura permite cementar las partículas del suelo, formar biopelículas estables y conservar la humedad en ambientes desérticos (Lan *et al.*, 2017).

¿Dónde se encuentran las biocostras?

Las biocostras son frecuentes en regiones áridas y semiáridas del planeta, caracterizadas por escasa vegetación, temperaturas extremas, prolongados periodos de sequía y suelos pobres en materia orgánica. Se han documentado en diversos desiertos de América, incluido el Desierto Chihuahuense, así como en extensas áreas de Australia, regiones secas del norte de África y amplias zonas de Asia Central (Gufwan *et al.*, 2025). En el caso de México, las biocostras tienen una presencia notable en el centro-norte del país, especialmente en el Desierto Chihuahuense, una de las ecorregiones más extensas y biodiversas de América del Norte (Sosa-Quintero *et al.*, 2022). Esta región alberga una rica variedad de plantas y animales adaptados a condiciones extremas, y las biocostras forman parte fundamental del equilibrio ecológico que permite su existencia. También se han observado en zonas altas de clima seco, en pastizales abiertos, laderas rocosas y suelos volcánicos con escasa cobertura vegetal.

Las biocostras se desarrollan principalmente en suelos desnudos o poco alterados, donde no hay cobertura vegetal densa, lo cual les permite captar la luz solar y expandirse. Su presencia indica que el ecosistema conserva cierta estabilidad y funcionalidad, y que los procesos naturales del suelo siguen operando, aunque de forma lenta. En cambio, su ausencia o destrucción puede ser señal de degradación severa del suelo, como ocurre en sitios erosionados o con compactación extrema por actividades humanas (Márquez-Godoy & González-Escobedo, 2022).

¿Por qué son importantes?

A pesar de su apariencia discreta y de pasar inadvertidas para la mayoría de las personas, las biocostras del suelo cumplen funciones ecológicas fundamentales que benefician tanto al

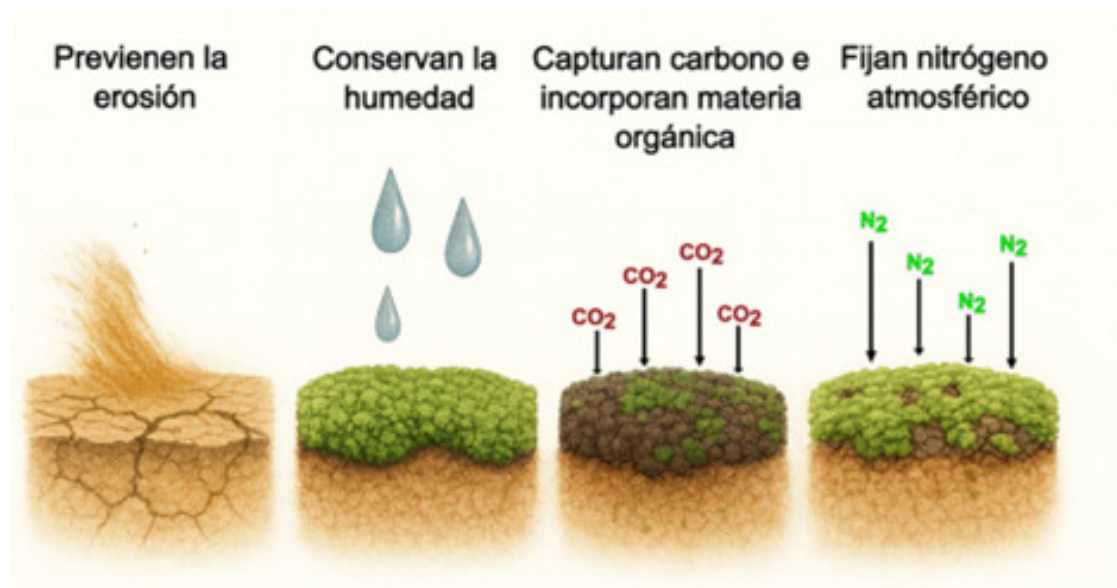


Figura 2. Algunas de las funciones ecológicas de la biocostra del suelo.

suelo como a los ecosistemas que dependen de él (Figura 2).

Entre sus funciones más destacadas se encuentra la protección contra la erosión. Al formar una capa compacta y cohesiva sobre la superficie del suelo, las biocostras ayudan a que el viento y el agua no arrastren las partículas del suelo y la materia orgánica. Esto es especialmente importante en regiones áridas, donde el suelo es suelto y más vulnerable al desgaste. Gracias a esta función, las biocostras contribuyen a conservar la estructura del suelo y a prevenir la pérdida de nutrientes (Caster *et al.*, 2021).

Otra función vital es la retención de humedad. Aunque el ambiente pueda ser seco, las biocostras logran absorber agua durante las lluvias y conservarla por más tiempo, reduciendo su evaporación. Esto crea microambientes más favorables para otros organismos, como semillas y plántulas, que de otro modo no podrían sobrevivir en condiciones tan extremas. Además, muchas biocostras participan en la fijación de nitrógeno atmosférico, especialmente aquellas que contienen cianobacterias. Este proceso permite transformar el nitrógeno del aire en formas que pueden ser utilizadas por las plantas, enriqueciendo así el suelo sin necesidad de fertilizantes comerciales.

Las biocostras también actúan como una especie de “pioneras” ecológicas. Al mejorar las condiciones del suelo, lo hacen más apto para que otras especies se establezcan, como plantas vasculares y microorganismos benéficos. En este sentido, facilitan la sucesión ecológica y promueven la recuperación natural de los ecosistemas (Gall *et al.*, 2022). Finalmente, cabe destacar su contribución a la captura de carbono. Al realizar fotosíntesis, algunas de las especies que integran las biocostras ayudan

a retirar dióxido de carbono de la atmósfera y lo incorporan a la materia orgánica del suelo. Esto convierte a las biocostras en pequeños pero efectivos sumideros de carbono, con un papel potencial en la mitigación del cambio climático (Shi *et al.*, 2025).

Una comunidad frágil y vulnerable

A pesar de su enorme valor ecológico, las biocostras del suelo son extremadamente frágiles. A diferencia de otras formas de vida que pueden regenerarse con rapidez, estas comunidades se desarrollan muy lentamente. Un solo paso de una persona, el rodamiento de una bicicleta o el peso de un automóvil pueden destruir una biocostra que tardó entre 10 y 50 años en consolidarse. Cuando se dañan, su recuperación no es inmediata, puede tomar varias décadas para que vuelvan a formarse en las mismas condiciones.

En los últimos años, las actividades como el pastoreo intensivo, la expansión urbana, la agricultura mecanizada, la construcción de caminos y el turismo no regulado han contribuido significativamente a su deterioro. Incluso prácticas que parecen inofensivas, como caminar fuera de senderos marcados en áreas naturales, pueden fragmentar y erosionar estas comunidades sin que el impacto sea visible de inmediato. El cambio climático agrava aún más la situación. El aumento sostenido de las temperaturas, la reducción de las lluvias y la mayor frecuencia de eventos extremos,

como sequías prolongadas, dificultan tanto la formación de nuevas biocostras como la permanencia de las ya existentes, lo que las hace menos funcionales y más propensas a desaparecer (Jiang *et al.*, 2025). Por estas razones, conservar las biocostras no solo implica proteger un componente invisible del paisaje, sino también preservar una pieza clave en la salud de los suelos y en la resiliencia de los ecosistemas áridos frente al deterioro ambiental.



Figura 3. El turismo no regulado es una de las causas de destrucción de las biocostras.

Biocostras y restauración ecológica

En años recientes, los investigadores han comenzado a reconocer el enorme potencial de las biocostras como aliadas en la recuperación de suelos degradados. Gracias a sus funciones ecológicas, las biocostras pueden ser utilizadas para reactivar ecosistemas dañados de forma natural, eficiente y sostenible (Malešević *et al.*, 2024). Incluso, en algunas regiones del mundo, estas comunidades se han cultivado en condiciones controladas, como invernaderos o laboratorios, para luego ser aplicadas directamente en el campo. Esto permite acelerar la colonización de suelos erosionados o perturbados, evitando que el viento o el agua arrastren los nutrientes y facilitando el establecimiento de otras formas de vida, como plantas nativas. Esta técnica, conocida como inoculación de biocostras, se ha convertido en una herramienta prometedora para proyectos de restauración ecológica (Roncero-Ramos *et al.*, 2022).

A diferencia de enfoques más costosos o invasivos, la restauración basada en biocostras aprovecha los propios procesos del ecosistema, promoviendo la regeneración desde abajo y respetando las condiciones locales. Es una estrategia particularmente útil en zonas áridas y semiáridas, donde las condiciones climáticas extremas limitan el uso de vegetación densa o infraestructura pesada. En el Norte de México, donde vastas extensiones del territorio están expuestas a la desertificación, la pérdida de cobertura vegetal y el sobrepastoreo, el uso de biocostras representa una alternativa real para mitigar el deterioro del suelo. Su implementación en programas de conservación, revegetación o manejo de áreas naturales protegidas podría ser clave para restaurar la funcionalidad ecológica y mejorar la resiliencia del ecosistema frente al cambio climático.

Conclusión

Las biocostras del suelo, aunque poco visibles, cumplen funciones ecológicas clave para el mantenimiento y la regeneración de ecosistemas áridos y semiáridos. Cumplen un papel en la protección contra la erosión, la retención de humedad y de nutrientes, la fijación de nitrógeno atmosférico y la captura de carbono, facilitando la sucesión ecológica. Los diversos organismos que componen la comunidad de las biocostras no solo contribuyen a mantener la estructura y fertilidad del suelo, sino que también ofrecen una alternativa sustentable para enfrentar problemáticas urgentes como la desertificación, el cambio climático y la degradación ambiental. Las implicaciones de conocer y conservar las biocostras son profundas. Su fragilidad frente al tránsito humano, al sobrepastoreo, a las actividades

agrícolas y al turismo no regulado exige una gestión más cuidadosa del territorio, especialmente en regiones como el Norte de México, donde vastas superficies enfrentan procesos de deterioro acelerado. En un mundo que enfrenta cada vez más presiones sobre sus recursos naturales, reconocer el valor de las biocostras es una invitación a mirar el suelo con otros ojos. Lo que parece una simple costra sobre el suelo es, en realidad, una comunidad viva que sostiene la base misma de los ecosistemas. Conservarlas no es solo una tarea científica, sino también una responsabilidad social y ambiental que nos involucra a todos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo otorgado para el proyecto de Ciencia Básica y de Frontera 2025 “Diversidad, Funcionalidad y Ensamblaje de Comunidades Sintéticas de Biocostras del Desierto Chihuahuense para el Control de la Degradación y la Restauración de Suelos” (Clave CBF-2025-I-1208).

Referencias

- Belnap, J., Phillips, S. L., & Miller, M. E. (2004). Response of desert biological soil crusts to alterations in precipitation frequency. *Oecologia*, 141(2), 306-316. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1438-6>
- Caster, J., Sankey, T. T., Sankey, J. B., Bowker, M. A., Buscombe, D., Duniway, M. C., Bar-ger, N., Faist, A. & Joyal, T. (2021). Biocrust and the soil surface: influence of climate, disturbance, and biocrust recovery on soil surface roughness. *Geoderma*, 403, 115369. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115369>
- Gall, C., Nebel, M., Quandt, D., Scholten, T., & Seitz, S. (2022). Pioneer biocrust communities prevent soil erosion in temperate forests after disturbances. *Biogeosciences*, 19(13), 3225-3245. <https://doi.org/10.5194/bg-19-3225-2022>
- Garcia-Pichel, F. (2023). The microbiology of biological soil crusts. *Annual Review of Microbiology*, 77(1), 149-171. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-032521-015202>
- 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), 1-26. <https://doi.org/10.1007/s00248-025-02504-5>
- Jiang, H., Ye, Q., Wang, S., Yang, L., Ma, Y., Qi, Y., Luo, H., Zhou, Z., Chang, Q., Ma, L., Wang, H., Zhao, C., & Chen, N. (2025). Response patterns of three types of biocrust to reduced rainfall. *Ecosystem Health and Sustainability*, 11, 0316. <https://doi.org/10.34133/ehs.0316>

- Lan, S., Wu, L., Yang, H., Zhang, D., & Hu, C. (2017). A new biofilm based microalgal cultivation approach on shifting sand surface for desert cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Bio-resource technology*, 238, 602-608. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1438-6>
- Malešević, T. P., Meriluoto, J., Mihalj, I., Važić, T., Marković, R., Jurca, T., Codd, G. A., & Svirčev, Z. (2024). Restoration of damaged drylands through acceleration of biocrust development. *Catena*, 244, 108265. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108265>
- Márquez-Godoy, J. N., & González-Escobedo, R. (2022). Tecnologías ómicas para la exploración de la biocostra del suelo. *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1062>
- Roncero-Ramos, B., Roman, J. R., Acien, G., & Canton, Y. (2022). Towards large scale biocrust restoration: producing an efficient and low-cost inoculum of N-fixing cyano-bacteria. *Science of the Total Environment*, 848, 157704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157704>
- Shi, J., Tao, J., Peng, Y., Wang, J., & Wang, X. (2025). Biocrusts benefit soil carbon sequestration via increasing the stability of soil dissolved organic carbon in dryland ecosystem. *Journal of Environmental Management*, 375, 124304. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124304>
- Sosa-Quintero, J., Godínez-Alvarez, H., Camargo-Ricalde, S. L., Gutiérrez-Gutiérrez, M., Huber-Sannwald, E., Jiménez-Aguilar, A., Maya-Delgado, Y., Mendoza-Aguilar, D., Montaño, N. M., Pando-Moreno, M., & Rivera-Aguilar, V. (2022). Biocrusts in Mexican deserts and semideserts: a review of their species composition, ecology, and ecosystem function. *Journal of Arid Environments*, 199, 104712. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104712>
- Weber, B., Belnap, J., Büdel, B., Antoninka, A. J., Barger, N. N., Chaudhary, V. B., Darrouzet-Nardi, A., Eldridge, D. J., Faist, A. M., Ferrenberg, S., Havrilla, C. A., Huber-Sannwald, E., Malam Issa, O., Maestre, F. T., Reed, S. C., Rodríguez-Caballero, E., Tucker, C., Young, K. E., Zhang, Y., Zhao, Y., Zhou, X., & Bowker, M. A. (2022). What is a biocrust? a refined, contemporary definition for a broadening research community. *Biological Reviews*, 97(5), 1768-1785. <https://doi.org/10.1111/brv.12862>