

INTERPRETACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA ORGÁNICA EN LA COSTRA MICROBIÓTICA DEL SUELO EN QUÍBOR, ESTADO LARA, UTILIZANDO MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

V. Toledo^{a*}, A. Florentino de Andréu^b y C. Urbina de Navarro^c

^aUniversidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Departamento de Geografía.

^bUniversidad Central de Venezuela, Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Maracay.

^cCentro de Microscopia Electrónica "Mitsuo Ogura". Universidad Central de Venezuela Facultad de Ciencias.

*Autor de Correspondencia E-mail: toledo.valentina@gmail.com

Recibido: Marzo 2015. Aprobado: Mayo 2015.

Publicado: Mayo 2015.

RESUMEN

La costra microbiótica del suelo se desarrolla inicialmente sobre costras físicas que se generan principalmente por el humedecimiento y secado del suelo siendo una característica recurrente en la zona árida de Quíbor. La costra microbiótica es orgánica, compuesta de macro organismos (briofitas y líquenes) y microorganismos (cianobacterias, hongos, algas, entre otros). Ésta crece sobre el suelo, formando un espesor no mayor a 3 mm. El objetivo de este trabajo es mostrar la formación de una microestructura en el suelo ante la presencia de la costra microbiótica. Para la observación e interpretación de la microestructura se utilizó Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Los resultados muestran una espesa textura orgánica formada por los rizoides que forman parte de las briofitas y ricinas de los líquenes, junto a empaquetamientos de hifas y cianobacterias. El micro horizonte formado a partir de los componentes orgánicos genera una microestructura estable que contribuye a mitigar el deterioro físico del suelo producto de la erosión hídrica. Se propone incluir los estudios de costras microbióticas, como indicador biológico para la evaluación de la calidad del suelo.

Palabras Clave: Costra microbiótica, MEB, rizoides, ricinas, calidad de suelo

INTERPRETATION OF THE ORGANIC MICROSTRUCTURE IN THE MICROBIOTIC CRUST OF THE SOIL IN QUIBOR, LARA STATE, USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

ABSTRACT

The soil microbial crust develops initially on physical crusts which are mainly generated since wetting and drying, being a recurrent feature in the Quíbor arid zone. The microbiotic crust is organic, composed of macro organisms (bryophytes and lichens) and microorganisms (cyanobacteria, fungi algae, etc.); growing on the ground, forming a thickness no greater than 3 mm. The aim of this paper is to show the formation of a microstructure on the soil from microbiotic crust. Anchors structures were studied by Scanning Electron Microscopy (SEM). The results show a thick organic texture formed by rhizoids as part of rhizines bryophytes and lichens, together bundles of hyphae and cyanobacteria. The micro horizon formed from organic components generates a stable microstructure that helps mitigate soil physical degradation product of erosion. It is proposed to include studies of microbiotic crusts, as biological indicator for evaluation of soil quality.

Key words: Microbiotic crust, soils, SEM, rhizoids, rhizines, soil quality

INTRODUCCIÓN

Las costras físicas del suelo son inorgánicas, llamadas también costras superficiales, compuestas por capas de suelo seco de poco espesor que se forman en la superficie del mismo, las cuales son más compactas y duras que el material que está debajo de ellas [1].

Diversos autores han señalado que la formación de costras físicas puede ocurrir en casi todas las clases texturales de suelos, excepto aquellos que tienen muy bajo contenido de arcilla o limo y alta proporción de arena gruesa (\varnothing 0,20-2,00 mm), en la fracción arenosa [1,2].

Según señala Belnap [3] existen cuatro principales factores para su formación: impacto de la gota de agua,

fuerza de compresión originada por el paso de animales y tráfico vehicular, proceso evaporítico (formación de costra química) y burbujas de gas atrapadas (formando costras vesiculares). También puede originarse por la combinación de algunos de los factores mencionados. Por otra parte, Gásperi-Mago [1] señala que la formación de estas costras es influenciada por dos grupos de factores: 1) los externos, los cuales suplen la energía (impacto de gota y energía radiante) y 2) las características inherentes de los suelos. Sin embargo, ambos autores [1,3] coinciden en señalar que al producirse el golpeteo de las gotas sobre la superficie del terreno, ocurre la disrupción de los agregados y la separación de las partículas; y parte de éstas se elevan en el agua que salpica y otra parte puede penetrar en el suelo, en los primeros cm superficiales, con el agua que infiltra, esto favorece a la obstrucción de los poros y la formación de un sello superficial, lo que aunado a la saturación natural del espacio poroso, propende a una disminución de la tasa de infiltración, favoreciendo el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo que esto conlleva. La Figura 1, muestra el aspecto de una costra física en la región árida de Quíbor.



Fig. 1. Aspecto de una costra física donde se observa las grietas de desecación

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la estructura del suelo (arreglo geométrico y topológico de los poros del suelo que se forman entre los agregados, y su estabilidad en tiempo y espacio) es una propiedad básica, considerada

como uno de los principales atributos de la calidad del suelo [4].

Por lo tanto, el grado de encostramiento del suelo tiene una gran influencia sobre los procesos hidrológicos y erosivos, tal como ha sido demostrado en diversas caracterizaciones micromorfológicas de superficie [5,6]. Ahora bien, Gásperi-Mago [1] y Belnap [3], señalan que existen situaciones donde la costra física desempeña un rol importante en ecosistemas estructurados. Posteriormente, Gásperi-Mago [7], analizó el origen y naturaleza de las diferentes costras superficiales formadas en la Depresión de Quíbor, y caracterizó un tipo de costra que aparece en suelos vírgenes que presentan contenidos de materia orgánica relativamente altos y, con bajos valores de densidad aparente, derivados de una asociación de alga-hongo que ejerce un efecto protector, al disipar y amortiguar la energía proveniente de las gotas de lluvia, evitando de manera limitada, la dispersión de los agregados y la subsecuente pérdida de suelo. Por su parte Belnap [3], señala que en regiones áridas, los interespacios de las plantas a menudo están cubiertos por una combinación de las costras físicas y biológicas del suelo que reducen la infiltración del agua. Es de notar que ambos autores [1,7] mencionan tanto las costras físicas como las biológicas. Las costras biológicas se desarrollan cuando los organismos agregan partículas del suelo en una capa, biocostra en la superficie del suelo. El adhesivo que mantiene el suelo agregado lo constituyen los mismos organismos junto con polisacáridos pegajosos que excretan, como consecuencia no sólo del movimiento, sino de otros procesos metabólicos microbianos [8,9].

En un estudio realizado en Almería en una zona árida y otra semiárida, en el cual se comparó el comportamiento de costras físicas y biológicas, los autores concluyen, que la respuesta hidrológica de las áreas encostradas se ve afectada no sólo por las características de la costra, sino también por las características del suelo sobre el que se desarrollan estas costras y especialmente por la pendiente

que aparece como una variable altamente predictiva para la infiltración y la erosión [10].

La costra física es una capa de suelo seco como se mencionó al inicio de la introducción, representa un serio impedimento para la emergencia de las plántulas recién nacidas y en ciertos cultivos, es la causa principal de que se obtenga una pobre población de plantas [11]. Sin embargo, sobre estas costras físicas, se desarrolla las costras microbióticas. La manera como los micro y macro organismos se establecen en el suelo y específicamente sobre las costras físicas y los beneficios de esta interacción en la interfase suelo-atmósfera, ha sido descrita por Belnap [3,12,13]. En este mismo orden de ideas, Rossi y De Philippis [14], enfatizan que la colonización del suelo por las cianobacterias, representa el primer paso para la formación de biofilms con distintos niveles de complejidad. En todos los posibles sistemas en el cual participan las cianobacterias, la síntesis de los exopolisacáridos contribuye a un microambiente estructuralmente estable e hidratado, así como protector químico-físico frente a factores de estrés biótico y abiótico. En la Figura 2, se observa la presencia de la costra microbiótica y el progresivo avance de esta, utilizando como soporte la costra física.



Fig. 2. Colonización de las costras físicas por la costra microbiótica (manchas oscuras) en la cercanía de la Qda. Los Barrancos.

La costra microbiótica representa una pequeña fracción en el perfil y afecta varias propiedades del suelo tales como:

la porosidad, el contenido de carbono y nitrógeno disponible, contenido de humedad del suelo, la hidrofobicidad y/o la microtopografía. Al respecto, Rodríguez, Aguilar, Cantón, Chamizo y Aguilar [15] señalan que la superficie rugosa generada en el suelo por las biocostras, es la clave para comprender la influencia de éstas en la escorrentía y en la erosión pero el efecto de la biocostra en la superficie micro-topográfica, varía dependiendo del contenido de agua de la costra. Finalmente, Kidron y Benenson [16] señalan el uso de la biocostra como biomarcadores para el contenido de agua subsuperficial y resaltan la importancia de la tipología de costras y de la posibilidad de mapearla, como una estimación de proxy de humedad de la capa superficial del suelo, lo cual facilitaría el camino para una mayor comprensión en cuanto a estructura, función y productividad de las regiones áridas.

El objetivo de este trabajo es describir la formación de una microestructura estable del suelo en la presencia de costras microbióticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

El área estudiada se ubica en la zona nororiental de la Depresión de Quibor, estado Lara, aproximadamente 1.097.000-1.098.000 mN y 434.000-435.000mE, Municipio Jiménez, a una altitud entre 600-800 m.s.n.m. Es una zona natural, con degradación de los suelos por acción del agua, originando un paisaje de “badland”. La superficie de costra microbiótica analizada, engloba un área aproximada de 150m². Se realizó un muestreo intencional de 10 muestras de suelo con costra microbiótica, de las cuales, 6 se utilizaron para la prueba de penetración de gotas y cuatro para la observación al MEB. Adicionalmente, se tomaron 2 muestras de suelo sin costra microbiótica como control. Para extraer la muestra, se utilizó un cilindro metálico de 8 cm², haciendo presión sobre el suelo. Se emplearon para su traslado bolsas

plásticas con cierre hermético y se mantuvieron refrigeradas a 4 °C, en cavas con hielo.

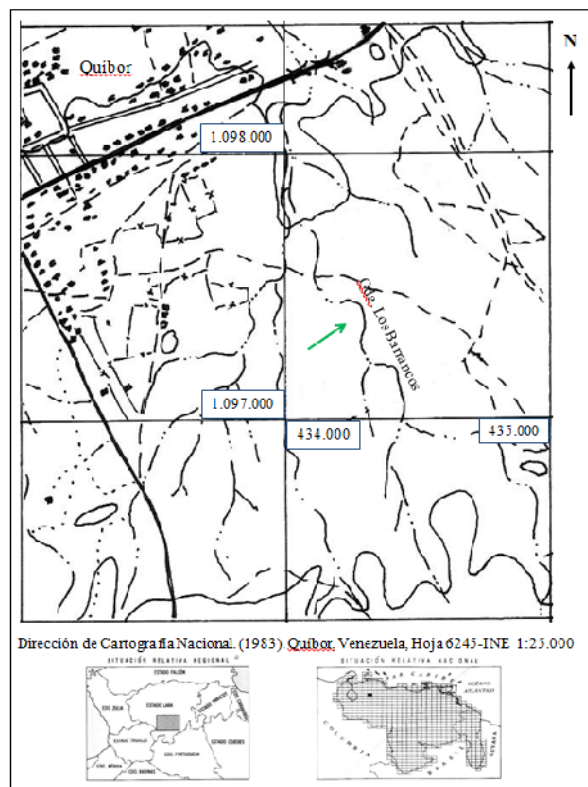


Fig. 3. Localización Geográfica del área de estudio

Identificación de los componentes de la costra por grupos morfológicos

La identificación de los tipos de briofitas, líquenes y tipos cianobacterias fue realizada empleando microscopía de luz y las claves taxonómicas respectivas. En este estudio se utilizó la clasificación por grupos morfológicos propuesta por Rosentreter, Bowker y Belnap [17] para identificar a los distintos componentes de la costra microbiótica.

Preparación de la muestra para el análisis por microscopía electrónica de barrido

Se realizaron cortes de los micros perfiles utilizando un bisturí empleando una lupa estereoscópica. Los micro perfiles fueron de 5 largo x 3 ancho x 5 profundidad mm, lo cual permitió obtener la representatividad de cada

grupo morfológico. Se utilizaron dos protocolos uno para las muestras de suelo con costra y otro para muestras de suelo sin costra microbióticas [18].

Equipo utilizado

Los estudios de microscopía electrónica de barrido se realizaron en un MEB marca FEI, modelo Quanta 600, trabajando a 20 kV.

Test de Hidrofobicidad

La medida de hidrofobicidad en las costras, se realizó mediante la prueba de penetración de gotas (WDPT, Water Drop Penetration Time), que consiste en cuantificar el tiempo que tarda en penetrar una gota de agua en una muestra y así establecer el grado de repelencia al agua que presenta un suelo. En cada muestra de suelo con costra se identificaron las briofitas, líquenes y cianobacterias. La medida se realizó también para muestras de suelo sin costra. Se hicieron tres repeticiones de la prueba de la gota en cada una de ellas. Se hizo una media ponderada del WDPT con la superficie, se calculó el WDPT en cada muestra y finalmente se clasificó según la severidad de la repelencia del agua [19].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Macromorfología de la costra microbiótica

La costra microbiótica observada exhibió una composición mixta de macro y micro organismos. De acuerdo con la clasificación propuesta por Rosentreter, Bowker y Belnap [17], se trata de una costra hipermórfica y a la vez perimórfica, ya que está compuesta por briofitas (musgos) y líquenes respectivamente. En su parte externa de la costra se visualiza con facilidad los macroorganismos (Figura 4).

En la (Figura 5), se muestra los microorganismos como las cianobacterias, comúnmente asociadas las manchas verde-azuladas, tal como ha sido reportada previamente por Belnap [12] y Rodríguez [20].

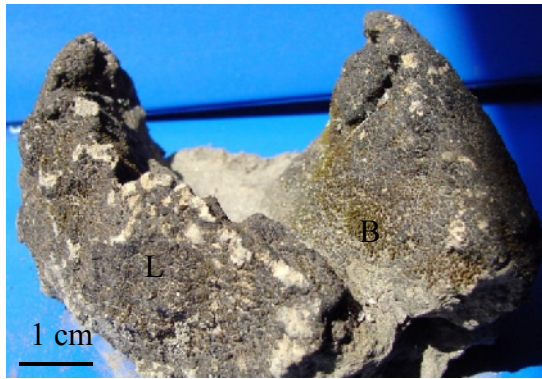


Fig. 4. Aspecto externo de la costra microbiótica. briofitas (B) y líquenes (L)



Fig. 5. Manchas verdes-azules representativas de cianobacterias (C) en la costra microbiótica

El espesor promedio de la costra es de 3 mm, en ella los distintos macro organismos se encuentran asociados; sin embargo, en el paisaje domina y abundan los líquenes, fácilmente observables por el aspecto crustáceo sobre el suelo. Según la clasificación de Belnap [3], la costra microbiótica de Quíbor es una costra rugosa, de color oscura debido a la presencia de líquenes con apotecios de color gris y negro, presentando líquenes de color anaranjado intercalados. También se observan sectores de color pardo a verde donde se encuentran las briofitas. La (Figura 6) muestra el espesor o perfil de la costra microbiótica que crece en los suelos de Quíbor; se observa a simple vista y con microscopía de luz, una espesa textura conformada por las diferentes estructuras morfológicas de anclaje: rizoides y ricinas.

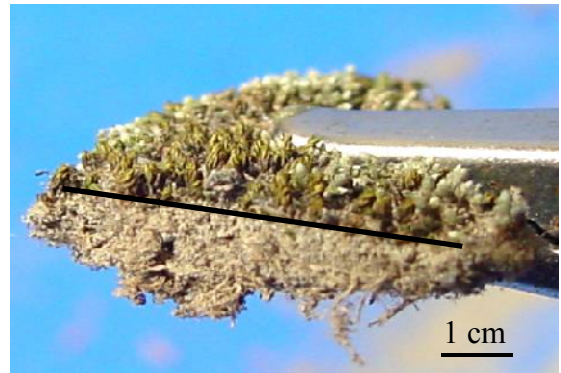


Fig. 6. Perfil de la costra microbiótica

Microestructura en la costra microbiótica

Los estudios de la costra microbiótica a través del MEB permitieron ver estructuras filamentosas, que posiblemente correspondan a hifas provenientes de los micelios de líquenes o de hongos (Figura 7). Se observa también un empaquetamiento de hifas originando un espacio poroso y la presencia de cianobacterias todo ello, formando una malla de filamentos entrelazados que facilita la retención de sedimentos y a la vez el paso del agua.

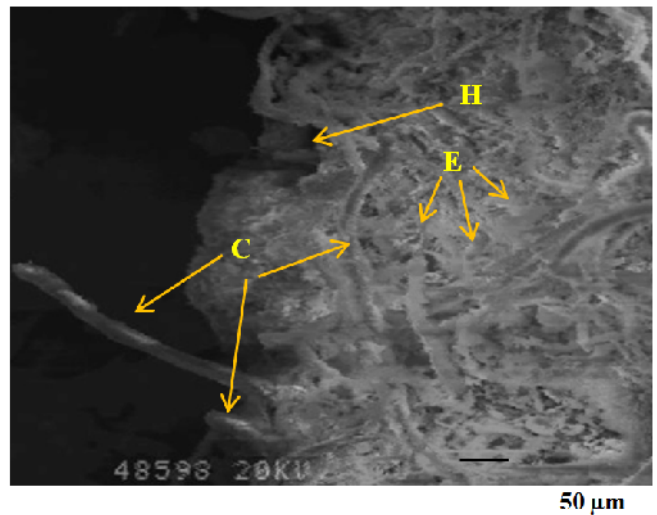


Fig. 7. Malla formada por hifas de líquenes u hongos (H) y cianobacterias (C), empaquetamiento (E).

Asimismo, se observa al MEB una microestructura de suelo con abundantes poros producidos por el efecto del trenzado de hifas y material en descomposición (*p.e.* hojas de briofitas, mostrando una relación de estabilidad y organización de la costra (Figura 8).

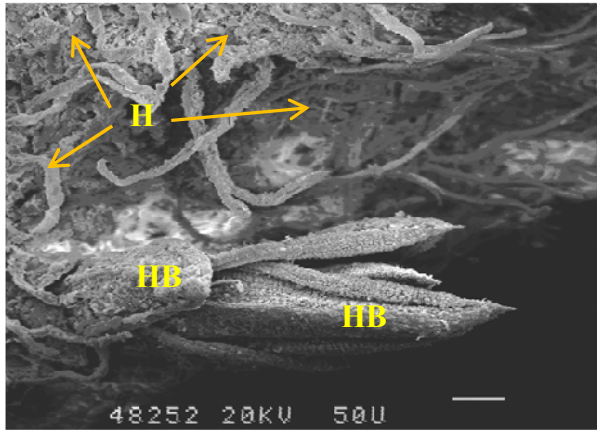


Fig. 8. hifas (H) y hojas de briofitas (HB). 50 μm

En la Figura 9 se observa la cohesión del suelo a través la red o malla entrelazada de material orgánico, lo cual promueve una estructura estable al suelo. Esta malla producto de las interconexiones orgánicas, facilita el escurrimiento del agua y protección del suelo contra la erosión.

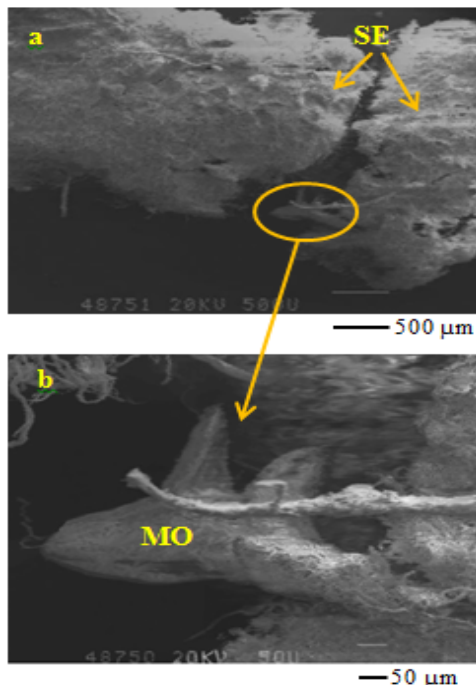


Fig. 9. Matriz del suelo con costra microbiótica. Suelo estable (SE), Matriz orgánica (MO).

Por el contrario, en la muestra de suelo sin costra se observó grumos compactos, con escasos poros interconectados propios de una estructura masiva, (Figura 10).

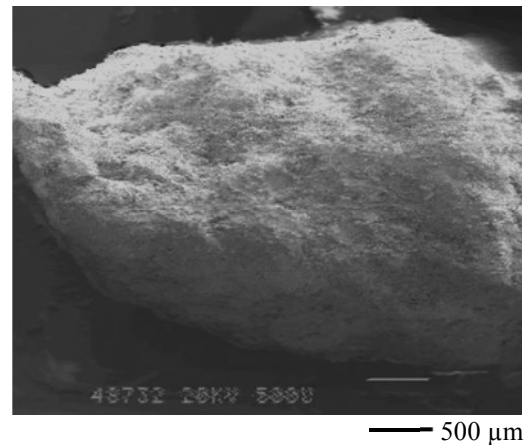


Fig. 10. Muestra de suelo sin costra

Los macro y micro-organismos que conforman la costra microbiótica segregan compuestos hidrofóbicos (exudados, polisacáridos gomosos), bien como productos de su metabolismo o bien de los productos de su descomposición cuando mueren [21].

Por otra parte, los valores del tiempo de penetración de la gota de agua (WDPT) Tabla 1, reflejan un comportamiento distinto entre los macro y micro-organismos.

Tabla 1. Medida de hidrofobicidad por tiempo de penetración de la gota en segundos (n=6)

Muestra	Descripción			
	Con macro y micro-organismos		Micro-áreas sin costra	
	Tiempo de infiltración del agua (s)			
	B	L	C	
N° 1	< 1		< 2	<1
N° 2		205	< 1	2
N° 3	< 2	319		3
N° 4		201		5
N° 5	< 2		< 2	<1
N° 6		157	< 1	4

De esta manera se determinó que las briofitas, las cianobacterias representadas por las manchas verdes azuladas y las muestras sin costra microbiótica presentaron muy baja repelencia, mientras que los líquenes, mostraron de moderada a severa repelencia. Tales diferencias posiblemente se deben a la variabilidad espacial de la infiltración del agua hacia los primeros milímetros de profundidad del suelo, lo cual está supeditado a la presencia de las diversas estructuras morfológicas de anclaje (rizoides de briofitas, hifas de hongos, ricinas de líquenes y malla de cianobacterias); estas estructuras tienen un componente individual que actúa sobre la circulación preferencial del agua, lo que estaría influyendo de manera diferente sobre y debajo de cada líquen y briofita. Igualmente, la presencia de mucílagos excretados por los líquenes y polisacáridos de tipo cianobacterianos pudiera estar interviniendo en el paso del agua y en su velocidad de penetración en el suelo, pero la ruptura de los agregados por colapso es baja [18]. Así por ejemplo, los restos de hojas de briofitas en descomposición y parte de los derivados de los mucílagos previenen un rápido humedecimiento de la costra, mientras que en las muestras sin costra microbiótica la ruptura por colapso es alta. Por tanto, el comportamiento hidrofóbico de las costras liquénicas pudiera no interferir en el aumento de la escorrentía y la erosión debido a que forman una biomasa continua en la superficie del suelo, lo que mitiga el impacto de la gota. Esta hipótesis es probable, ya que las costras liquénicas dominan sobre las distintas posiciones topográficas de las cárcavas. Al respecto, Rodríguez [20] señala que durante lluvias poco intensas la micro-topografía generada por la presencia de costra microbiótica aumenta la cantidad de agua que se almacena en las micro-depresiones del terreno, reduce la conectividad hidrológica, retarda la generación de escorrentía y aumenta la infiltración. En lluvias intensas, por el contrario, son el tipo y cobertura de costra, junto con la hidrofobia de algunos compuestos exudados por ciertos tipos de costras microbióticas, los parámetros que

controlan la generación de escorrentía. Finalmente, afirma que estas costras ejercen un fuerte efecto protector frente a la erosión hídrica, tanto en lluvias débiles como intensas.

De la misma manera, la costra conformada es mixta, es decir, en su conjunto están presentes briofitas, líquenes, hongos y cianobacterias. Significa entonces que las estructuras de anclaje como los rizoides y ricinas, como el efecto de las cianobacterias coinciden en el mismo micro-espacio de manera simultánea, lo cual genera un resultado integrado para la conformación de la estructura estable para la propia costra microbiótica, produciéndose una sinergia de los efectos de la microestructura.

Otros estudios sobre la hidrofobicidad de costras biológicas formadas solamente por un espécimen, señalan que los líquenes retienen mayor agua entre las hifas del líquen y la superficie de los talos, pudiendo reducir así la infiltración y favorecer los procesos de escorrentía [22]. Por otro lado, las cianobacterias que consisten en filamentos, dejan espacios libres entre ellos, y por tanto son menos probables que ocupen los poros del suelo a diferencia de líquenes y briofitas [23]. Sin embargo, Chamizo y colaboradores [10] señalan, que los líquenes promueven una mayor rugosidad de la superficie que las cianobacterias y, en consecuencia, pueden aumentar más la infiltración. Al mismo tiempo, la alta relación superficie/volumen en las briofitas, otorgada por su pequeño, tamaño, favorece las condiciones para crear una mayor área para la captura de agua y disipar la energía del impacto de la gota de agua [13,24].

En todo caso, la costra microbiótica interviene en el perfil del suelo promoviendo cambios en la estructura, creando condiciones diferentes: mayor espacio de poros y mayor estabilidad en comparación con la estructura de la muestra de suelo sin costra microbiótica.

La presencia de la costra microbiótica en los primeros mm del suelo, representa un mejoramiento estructural del mismo, mitigando la pérdida de suelo y por ende de nutrientes. En consecuencia, actúa como fertilizante natural por el aporte de la biomasa microbiana, la cual

participa en forma activa en la descomposición de la materia orgánica, en el flujo de elementos C y N y en los procesos de mineralización de la materia orgánica [25].

CONCLUSIONES

El micro horizonte formado a partir de los componentes orgánicos genera una microestructura (físico-natural) que contribuye a mitigar el deterioro físico del suelo producto de la erosión hídrica en la zona de cárcavas en Quíbor.

La actividad microbiana de un suelo no solo es responsable directa de su fertilidad sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales como los agroecosistemas. Se propone incluir los estudios de costras microbióticas, como indicador biológico para la evaluación de la calidad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Microscopía y Microanálisis, Proyecto Lab-2001001442, FONACIT y al Vicerrectorado de Investigación y Postgrado de la UPEL, Instituto Pedagógico de Caracas. Proyecto Número 08-07804062008.

REFERENCIAS

- [1] Gásperi-Mago, R. (1978). "Origen y naturaleza de la costra superficial formada en los suelos de la Depresión de Quíbor". *V Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*. Barquisimeto.
- [2] Lemos, P., y Lutz, J. (1957). "Soil crusting and some factors affecting it". *Soil Sci Soc Am Proc*.21:485-491.
- [3] Belnap, J. (2001) "Comparative structure of physical and biological Crusts". En J., Belnap y O.L., Lange (Comp), *Ecological Studies: Vol. 150. Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*, Berlin: Springer-Verlag, pp.177-191.
- [4] Osuna, E., Figueroa, B., Oleschko, K., Flores, M., Martínez, M. y González, F. (2006). "Efecto de la

estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza" *Agrociencia*. 40: 27-38.

- [5] Bonel, B., Morrás, H. y Bisaro, V.(2005). "Modificaciones de la microestructura y la materia orgánica en un argiudol bajo distintas condiciones de cultivo y conservación". *Ciencia del suelo*. 23: (1) 1-12.
- [6] Galvis, J., Amézquita, É. y Madero, E.(2008). "Evaluación del efecto de la intensidad de la labranza de un oxisol de sabana en los llanos orientales de Colombia: Caracterización micromorfológica en superficie" *Acta Agronómica*. 57: (1) 19-29.
- [7] Gásperi-Mago, R. (1982). "Principios básicos de erosión y conservación de suelos". *Suplemento Técnico*. 28. Barquisimeto: Fudeco. pp.203.
- [8] Bailey, D., Mazurak, P y Rosowski, J. (1973). "Aggregation of soil particles by algae" *Journal Phycology*. 9: 99-101.
- [9] Campbell, S., Seeler, J., y Golubic, S. (1989). "Desert crust formation and soil stabilization" *Arid Soil Research. Rehab*, 3: 217-228.
- [10] Chamizo, S., Rodríguez, E., Miralles, I., Afana, A., Lázaro, R., Domingo, F., Calvo, A., Sole, A. y Cantón, Y. (2010). "Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos" *Pirineos*. 165: 69-96,
- [11] Taboada, M., Rodríguez, M.,Palleiro L. y Taboada, M.T. (2015). "Soil crusting and surface runoff in agricultural land in Galicia (NW Spain)" *Spanish Journal of soil Science*. 5(1):72-81.

- [12] Belnap, J., Rosentreter, R., Leonard, S., Hilty, J., Williams, J. y Eldridge, D. (2001). Biological soil crust: ecology and management. *United State Department of the Interior Bureau of Land Management*. Denver. Colorado. 110p.
- [13] Toledo V. (2006). "Caracterización de la costra microbiótica y su influencia biológica y física en suelos de la región árida de Quíbor, Estado Lara" *Tesis Doctoral*. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 153pp.
- [14] Rossi, F., y De Philippis, R. (2015). "Role of cyanobacterial exopolysaccharides in phototrophic biofilms and in complex microbial mats" *Life*. 5: 1218-1238.
- [15] Rodríguez, E., Aguilar, M., Cantón, Y., Chamizo, S. y Aguilar, F. (2015). "Swelling of biocrusts upon wetting induces changes in surface micro-topography" *Soil Biology & Biochemistry*. 82: 107-111.
- [16] Kidron, G., y Benenson, I. (2014). "Biocrusts serve as biomarkers for the upper 30 cm soil water content" *Journal of Hydrology*. 509:398-405.
- [17] Rosentreter, R., Bowker, M. y Belnap, J. (2007). *A field guide to biological soil crusts of Western U.S. Drylands*. U.S Government Printing Office, Denver, Colorado. 101p.
- [18] Toledo, V., Florentino de Andréu, A. y Urbina de Navarro, C. (2014). "Efectos de las estructuras de anclaje y microorganismos en la formación de agregados en la costra microbiótica de los suelos de Quíbor, Estado Lara" *Acta Microscópica*. 23(2):136-143.
- [19] Department of Sustainable Natural Resources. (2003). "Soil survey standard test method. Water repellency" [Documento en línea]. Disponible en :<http://www.d/wc.nsw.gov.au/./pdfs/eat.pdf>. [Consulta: 2003, septiembre 9].
- [20] Rodríguez, E. (2013). "Cross-scale effects of biological soil crusts runoff generation and water erosion in semiarid ecosystems. Field data and model approach". *Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales*, Universidad de Almería, España. 271pp.
- [21] DeBano, L. (2000). "Water repellency in soils: a historical overview" *Journal of Hydrology*. 31:4-32.
- [22] Souza-Egipsy, V., Ascaso, C. y Sancho, L. (2002). "Water distribution within terricolous lichens revealed by scanning electron microscopy and its relevance in soil crust ecology" *Mycological Research*. 106 (11): 1367-1374.
- [23] Belnap, J., (2006). "The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles" *Hydrological Processes*. 20 (15): 3159-3178.
- [24] Estébanez, B., Draper, I. y Medina, R. (2011). Briófitos: "Una aproximación a las plantas terrestres más sencillas" *Memorias R. Soc.Esp.Hist. Nat*. 9:19-73.
- [25] Toledo, V., y Florentino, A. (2012). "Evaluación de las propiedades biológicas y bioquímicas de la costra microbiótica de un suelo bajo vegetación natural en la región árida de Quíbor, Venezuela". *Revista de Investigación* .36 (75):143-162.