

Evaluación de las propiedades biológicas y bioquímicas de la costra microbiótica de un suelo bajo vegetación natural en la región árida de Quíbor, Venezuela

Evaluate the biological and biochemical states of the microbiotic soil crust of low natural vegetation in the arid region of Quíbor, Venezuela

Valentina Toledo B (1)

toledo.valentina@gmail.com

Adriana Florentino de Andreu (2)

florentinoa@gmail.com

(1) Universidad Pedagógica Experimental Libertador,

Instituto Pedagógico de Caracas

(2) Universidad Central de Venezuela, Instituto de Edafología,

Maracay-Aragua, Venezuela

RESUMEN

El objetivo fue evaluar las propiedades biológicas y bioquímicas de la costra microbiótica de un suelo bajo vegetación natural, sometido a procesos naturales de erosión en Quíbor, estado Lara. Se recolectaron muestras en la posición cima, flanco y valle en dos sistemas de cárcavas. Los análisis realizados fueron: pH, carbono en la biomasa microbiana, respiración basal, carbono orgánico, carbohidratos totales, índices ecofisiológicos y nitrógeno total. Se efectuó la prueba de la t de Student, análisis de varianza y prueba de Scheffé por posiciones topográficas y por profundidad. Los resultados evidencian que la presencia de costra microbiótica en el suelo genera diferencias significativas al 5% entre algunas posiciones topográficas y profundidades sobre las variables biológicas y bioquímicas del suelo. En conclusión, las costras microbiótica promueven parches de fertilidad para los suelos donde se encuentran las cárcavas. La adquisición del carbono y nitrógeno por los organismos contribuye al balance de estos elementos en este ecosistema áridos.

Palabras clave: Costra microbiótica; actividad microbiana; zonas áridas; Valle de Quíbor.

ABSTRACT

*The objective was to evaluate the biological and biochemical states of the microbiotic soil crust of low natural vegetation, subject to natural processes of erosion in the Valley of Quíbor, state Lara. Were collected samples in the position headcut, flank and valley in two systems of gully.. The crust analyses were: pH, carbon of the microbial biomass, basal respiration, organic carbon, total carbohydrates, ecophysiological index and total nitrogen. Student's *t* test carried, applied analysis of variance and topographic position and depth Scheffé test. The results showed that the presence of microbiotic soil crust on the ground generates significant differences to 5% among some topographic positions and depths on the biological and biochemical variables of soil. In conclusion, the microbiotic soil crust promote patches of fertility for soils where the gully. The acquisition of the carbon and nitrogen by organisms contributes to the balance of these elements in this arid ecosystem.*

Key words: Microbiotic crust; microbial activity; arid zone; Quíbor Valley

INTRODUCCIÓN

En regiones áridas o semiáridas, la falta de recursos hídricos limita la disponibilidad de agua por parte de las plantas vasculares. Esta situación afecta, entre otros, la calidad y cantidad de materia orgánica que se aporta periódicamente al suelo, lo que, a su vez, incide en el desarrollo y actividad microbiológica del suelo, ya que la materia orgánica es el principal aporte de energía y de carbono que tienen los micro-organismos. En ese contexto, la costra biológica puede ser un importante contribuidor autotrófico de fijación de carbono, liberando este carbono al suelo por procesos de lavado y remplazo. La asimilación del carbono por los organismos de la costra, juega un rol importante porque contribuye al reservorio de humus en el suelo, en la sustentación de vida heterotrófica del suelo y suplencia de nutrientes (Evans y Lange, 2001).

La costra microbiótica forma un horizonte de pocos milímetros de espesor sobre la superficie del suelo. Estos tapetes microbianos, también conocidos como costras biológicas o biocostras, son mantos de coberturas

compuestos de cianobacterias, musgos y líquenes, es decir, formados por organismos vivos y por sus productos, lo cual crea una superficie de partículas minerales ligadas por materiales orgánicos (Toledo 2006). Además, son organismos muy resistente a las altas y bajas temperaturas, a largos períodos de desecación y excesiva radiación, respondiendo rápidamente a los cambios momentáneos de las condiciones micro-ambientales (Lange, 2001). Por lo tanto, todos ellos son organismos poiquilo-hídricos, es decir, presentan un rápido y directo equilibrio con el contenido de agua obedeciendo a cambios en la humedad relativa del aire.

Las zonas áridas y específicamente en la localidad del Valle de Quíbor, se caracteriza por poseer suelos muy susceptibles de degradación y una alta variabilidad de las lluvias, con precipitaciones escasas y de alta intensidad, corta duración y erráticas, con una cobertura vegetal de poco dosel y dispersa, lo cual hace que el desarrollo sostenible sea difícil de alcanzar bajo estas condiciones.

Desafortunadamente, sólo en reducidas partes de la región de Quíbor se conserva la vegetación natural o potencial. Los parches o islas de vegetación natural en su mayoría son de tipo arbustivos xerofíticos y en menos proporción arbóreos, teniendo como forma biológica dominante el cují.

Por otra parte, los estudios realizados sobre costras microbióticas están mayormente relacionados con medidas de fotosíntesis y evolución del CO₂ (Lange et al., 1994); con medidas de la tasa de recuperación de la cobertura por aislamiento y posterior inoculación (Belnap, 1993), con fijación de N₂ (Malam et al., 2001a) y C atmosférico (Beymer y Klopatek, 1991). Evans y Lange (2001) señalan que la suplencia de carbono por los organismos de la costra biológica puede estar por el orden de varios de cientos de kg ha⁻¹, representando una sustancial contribución a los ecosistemas áridos y semiáridos. Sin embargo, relativamente pocos estudios han evaluados el rol de la costra biológica considerando el C y NT en estos ecosistemas. La costra biológica como lo señala Maestre (2003), constituye una de las propiedades edáficas más importantes

en los ecosistemas semiáridos, donde juega un rol determinante de su funcionamiento y dinámica; así mismo, puede ser utilizada como bio-indicador de procesos de desertificación, como promotora de la estabilidad y fertilidad del suelo y el restablecimiento de coberturas de costras en zonas altamente degradadas o desertificadas (Bowker et al., 2006).

Recientemente, Toledo (2006) identificó en un suelo del Valle de Quíbor, una costra microbiótica en una zona natural que crece y se desarrolla sobre suelos que tienen como rasgo geomorfológico evidente un paisaje lleno de cárcavas. A través de la técnica de microscopía de barrido. Toledo (2006), observó a los 2 primeros mm de profundidad, las estructuras de fijación de los líquenes y briofitas (ricinas y rizoides), las cuales se entretajan formando una especie de red que atrapa cuerpos orgánicos y partículas minerales e impide que sean transportadas a mayor profundidad o superficialmente evitando la erosión. Tal situación favorece la formación de una capa cohesiva en la superficie del suelo por lo que contribuyen a estabilizar el suelo y a disminuir el riesgo de erosión. Si bien esta cobertura orgánica es discontinua sobre el suelo, su extensión entre de las cárcavas es abundante. Ante tales razones, se plantea evaluar las propiedades biológicas y bioquímicas de la costra microbiótica con el propósito de cuantificar su contribución en este ecosistema árido del Valle de Quíbor, estado Lara, Venezuela.

MÉTODO

La zona de estudio se ubica en la parte nororiental de la Depresión del Valle de Quíbor, estado Lara, aproximadamente a los 09° 54' - 09° 57' N y 69° 35' - 69° 37' W, Municipio Jiménez. Altitud entre 600- 800 m.s.n.m (ver figura 1).

El clima en la depresión de Quíbor, es seco con un régimen bimodal con un período húmedo principal hacia mayo-junio y uno secundario, pero mucho menos importante, hacia octubre-noviembre (Andressen, 2007). En general, la vegetación se presenta en forma discontinua, representada por cardonales y espinares, destacando formas vegetales de

hojas pequeñas y escasas, donde se distinguen especies pertenecientes a la familia Cactáceae y algunas especies arborescentes y caducifolias de la familia leguminosa en general. La disponibilidad de agua es temporalmente intermitente, quedando sujetas a períodos variables de desecación (Proctor y Tuba, 2002). Los suelos son poco desarrollados, son moderadamente profundos, de textura medias a finas, cuyo contenido de arcilla no incrementa significativamente con la profundidad. Tiene contenidos bajos de materia orgánica en los horizontes superficiales; su porcentaje de saturación con bases es moderado a alto y la reacción es neutra a ligeramente alcalina. Es débil a moderadamente estructurado y tiene horizontes poco a medianamente diferenciados (Elizalde et al., 2007).

El lugar de muestreo de la costra microbiótica se realizó en una zona natural que no ha sido mecanizada ni ha sido sometida a ningún tipo de práctica de manejo pero presenta gran cantidad de cárcavas y derrumbes, producto de la erosión por sufusión prevaleciente en la zona, particularmente asociado a este tipo de suelo. Para el muestreo de la biocostra se trazaron dos transectas paralelas entre sí a la carretera Los Jebes, una de ella atravesando la quebrada Los Barrancos, ambas en dirección al crecimiento de las cabeceras de las cárcavas NE-SW. Las longitudes de las transectas 1 y 2, fueron de 675 y 375 m respectivamente, separadas entre sí por una distancia aproximada a los 750 m.

El muestreo fue realizado en el mes de mayo (mes más lluvioso) en cuatro puntos, ubicados dos puntos en los extremos de cada transecta. La identificación de los sitios para el muestreo en el extremo de cada transecta fue definida como “cabecera”, “flanco” y “canal”, las cuales constituyen las partes alta (relativamente plana), la parte intermedia (pendiente) y la parte baja (plana) de una cárcava, respectivamente. En cada una de estas posiciones topográficas se tomó una muestra de suelo con costra y otra sin costra, obteniéndose 12 muestras por cada transecto. Cada punto fue geo referenciado. El tamaño aproximado de cada muestra fue de 10 x 10 x 10 cm. Se trabajó con cincel y espátula para recolectar una muestra lo menos alterada posible. Se empleó para su traslado bolsas plásticas herméticas y se mantuvieron refrigeradas a 4 °C.

Posteriormente, cada muestra, se dividió en tres capas delgadas (0-2, 2-6 y 6-10 mm), obteniéndose un total de 72 muestras. Para obtener estas secciones delgadas se empleó como guía para la primera capa, los polígonos de contracción que ocurren en forma natural sobre la superficie del suelo cuando la costra se humedece y se seca. Para separar las otras capas se usó un cuchillo plegable, raspando hasta alcanzar 6 y 10 mm de espesor.

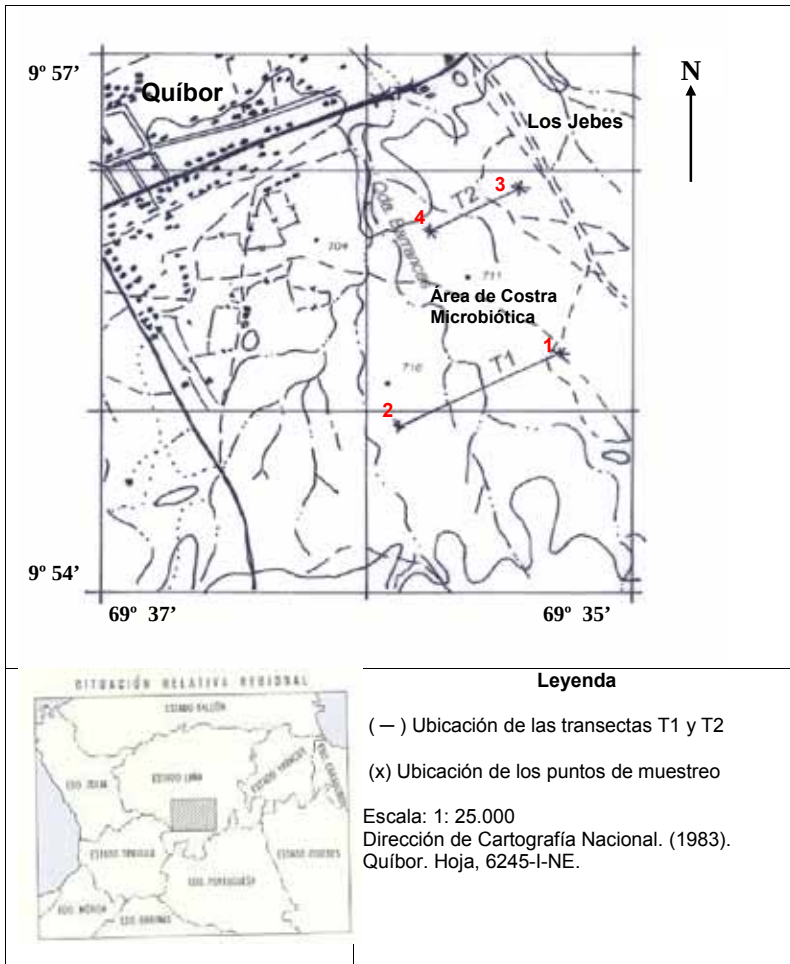


Figura 1. Localización del área de estudio y puntos geo-referenciados

Análisis biológicos y bioquímicos

En las muestras de suelo con y sin costra se determinó el carbono de la biomasa microbiana (CBM) por fumigación-extracción con cloroformo (Sparling y West, 1988), con las siguientes modificaciones: se usaron 10 g de suelo y se trabajó al contenido de humedad del suelo con el fin de no alterar las condiciones propias de las muestras. También se determinó: respiración basal (RB) usando 50 g de suelo, capturando el CO_2 durante 24 horas en NaOH 0,1M y luego medido por titulación con HCl 0,1 M (Anderson, 1982). Además, se determinó carbono orgánico (CO) por Wlakley y Black (Anderson y Ingram, 1993). Con los datos obtenidos se estimaron los índices ecofisiológicos microbianos tales como: el cociente microbiano (CBM/CO), el cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) (Anderson y Domsch, 1993) y el cociente de mineralización de carbono ($\text{C-CO}_2/\text{CO}$) (Dommergues, 1960). Finalmente, se analizó el contenido de carbohidratos totales (CAR-T) en el suelo por el método fenol-ácido sulfúrico, (Dubois et al., 1956), con el fin de obtener un valor de la cantidad de carbono lábil disponible en la costra microbiótica. Nitrógeno total (NT) a través de digestión por Kjeldahl (McGill y Figueired, 1993) y pH en relación 1:5 suelo:agua y medición en un potenciómetro. Cada muestra de suelo fue analizada dos veces por separado.

Análisis estadístico

La homogeneidad de las variancias se comprobó mediante el test de Levene y se efectuó la prueba de la t de Student para determinar las diferencias entre las medias de las muestras de suelo con costra y sin costra microbiótica. Posteriormente, se efectuó el método de Análisis de Varianza (ANOVA) de una sola vía para determinar el efecto de las muestras de suelo con costra microbiótica entre las variables biológicas y químicas por posiciones topográficas y por profundidades. Se empleó el paquete estadístico SPSS versión 7.5.

RESULTADOS

El Cuadro 1 muestra los resultados de la determinación de las diferentes propiedades biológicas y bioquímicas en muestras de suelo con costra y sin costra microbiótica, para las distintas posiciones topográficas en las cárcavas, así como en las diferentes profundidades.

Las muestras de suelo con costra microbiótica cubren grandes extensiones de las cabeceras en parches irregulares; los flancos constituyen el material colapsado de la cabecera, al desplomarse el material por subsidencia o en bloques, éste se deposita formando pendientes suaves o en el fondo del canal. Ambas situaciones están controladas por la profundidad de las cárcavas, y por esta razón, la costra se encuentra también en los flancos y canales de las cárcavas. Por lo cual, la composición de la costra microbiótica no varía en cuanto a los especímenes que la componen por posición topográfica, siendo una costra mixta. De acuerdo con la clasificación propuesta por Eldridge y Greene (1994), es hipermórfica porque está compuesta por briofitas y a la vez perimórfica, por la presencia de líquenes. En algunas partes del suelo, también se observan las manchas verde-azuladas comúnmente asociadas a las cianobacterias (ver figura 2).

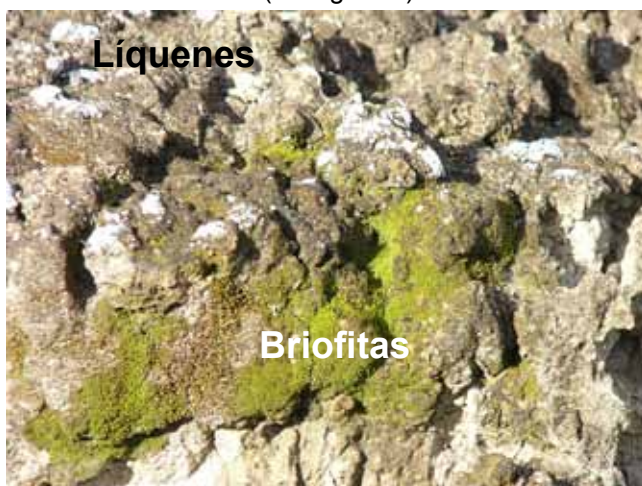


Figura 2. Costra microbiótica que crece sobre las cárcavas

Cuadro 1. Valores biológicas y bioquímicas de las muestras de suelo con costra y sin costra microbiótica en las distintas posiciones topográficas de las cárcavas y a diferentes profundidades. Media $\pm$ desviación estándar para n=4

Profundidad 0- 2 mm		
Variables	Flancos con costra	Flancos sin costra
CBM ($\mu\text{g Cmic g}^{-1}$)	1003 $\pm$ 722,2	59,2 $\pm$ 41,6
RB ($\text{mg C-CO}_2\text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	62,1 $\pm$ 10,2	65,7 $\pm$ 3,7
qCO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2/\mu\text{g Cmic.hx10}^3$)	5,86 $\pm$ 7,41	82,62 $\pm$ 80,0
CO (%)	1,6 $\pm$ 0,7	0,5 $\pm$ 0,1
CAR-T ($\mu\text{g glucosa g}^{-1}$)	17,4 $\pm$ 15,3	4,6 $\pm$ 2,1
CBM/CO ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	6,4 $\pm$ 5,0	1,0 $\pm$ 0,5
C-CO ₂ /CO ($\text{g g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	0,4 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,6
pH (1:5)	8,1 $\pm$ 0,2	8,4 $\pm$ 0,4
NT (%)	0,2 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,0
C/N	6,3 $\pm$ 0,8	3,5 $\pm$ 1,9
Profundidad 2-6 mm		
CBM ($\mu\text{g Cmic g}^{-1}$)	450,6 $\pm$ 149,8	26,2 $\pm$ 17,8
RB ($\text{mg C-CO}_2\text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	55,3 $\pm$ 17,6	61,1 $\pm$ 14,9
qCO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2/\mu\text{g Cmic.hx10}^3$)	5,79 $\pm$ 3,58	147,59 $\pm$ 111,30
CO (%)	1,0 $\pm$ 0,7	0,4 $\pm$ 0,1
CAR-T ($\mu\text{g glucosa g}^{-1}$)	4,6 $\pm$ 3,0	4,6 $\pm$ 2,9
CBM/CO ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	6,0 $\pm$ 3,9	0,5 $\pm$ 0,2
C-CO ₂ /CO ($\text{g g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	0,8 $\pm$ 0,5	1,1 $\pm$ 0,2
pH (1:5)	8,4 $\pm$ 0,1	8,1 $\pm$ 0,1
NT (%)	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0
C/N	5,3 $\pm$ 2,4	2,9 $\pm$ 0,3
Profundidad 6-10mm		
CBM ($\mu\text{g Cmic g}^{-1}$)	64,4 $\pm$ 38,2	42,4 $\pm$ 40,9
RB ($\text{mg C-CO}_2\text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	51,8 $\pm$ 19,3	61,0 $\pm$ 10,9
qCO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2/\mu\text{g Cmic.hx10}^3$)	50,93 $\pm$ 39,06	166,46 $\pm$ 211,25
CO (%)	0,7 $\pm$ 0,5	0,4 $\pm$ 0,1
CAR-T ($\mu\text{g glucosa g}^{-1}$)	5,2 $\pm$ 3,2	3,2 $\pm$ 1,2
CBM/CO ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	1003 $\pm$ 722,2	59,2 $\pm$ 41,6
C-CO ₂ /CO ($\text{g g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	62,1 $\pm$ 10,2	65,7 $\pm$ 3,7
pH (1:5)	5,86 $\pm$ 7,41	82,62 $\pm$ 80,0
NT (%)	1,6 $\pm$ 0,7	0,5 $\pm$ 0,1
C/N	17,4 $\pm$ 15,3	4,6 $\pm$ 2,1

En el Cuadro 2 correspondiente a la prueba T, se puede observar que existen diferencias significativas entre las muestras de suelos con y sin costra microbiótica en varias de las propiedades biológicas. En efecto, las variables C-BM, Carbohidratos totales, QCO_2 y CBM/CO, MO, N, y C-CO₂/CO, el estadístico F de la prueba de Levene no permite aceptar la igualdad de varianzas poblacionales entre los dos grupos de la variable cobertura (con costra y sin costra). Además, las variables QCO_2 y C-CO₂/CO muestran el signo negativo en el estadístico t, lo que indica que las mencionadas variables registran valores significativamente superiores en las muestras de suelo con costra microbiótica. Las variables CO, pH, RB y C/N no presentan variaciones significativas entre las muestras de suelos con costra y sin costra microbiótica.

Cuadro 2. Prueba T entre muestras de suelos con y sin costra microbiótica

	t	gl	Sig. (bilateral)
CARBOHID	2.898	70	.005
CBIOMASA	4.218	70	.000
CBM/CO	3.944	70	.000
C/N	-.312	70	.756
CO	1.689	70	.096
MO	2.269	70	.026
N	2.634	70	.010
pH	-1.581	70	.118
QCO ₂	-3.614	70	.001
C-CO ₂ /CO	-2.624	70	.001
RB	.052	70	.959

El estadístico ANOVA de un factor (ver Cuadro 3) permitió verificar las diferencias significativas por profundidad, introducidas por la presencia de la costra microbiótica en las variables C-BM y Carbohidratos totales, todas con valores de significancia < 0.05. Mientras que las variables CO, pH, N, RB, C/N, CBM/CO, QCO_2 y C-CO₂/CO no presentaron diferencias significativas.

Las comparaciones *Post hoc* o a posteriori, usadas para saber cuáles son las medias de las diferentes profundidades que más difieren (significancia < 0.05), mediante la herramienta Scheffé, reveló que la

variable C-BM la variación de medias es entre 0-2 y 2-6 mm y entre 0-2mm y 6-10 mm.

Cuadro 3. Análisis de varianza de un factor para comparar las medias de propiedades biológicas y químicas entre muestras de suelo con costra microbiótica a diferentes profundidades

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CARBOHID	Inter-grupos	406,334	2	203,167	3,38	,05
	Intra-grupos	1984,786	33	60,145		
	Total	2391,121	35			
CBM/CO	Inter-grupos	21,868	2	10,934	1,08	,035
	Intra-grupos	333,649	33	10,111		
	Total	355,516	35			
C/N	Inter-grupos	7,616	2	3,808	1,41	,26
	Intra-grupos	88,865	33	2,693		
	Total	96,481	35			
CO	Inter-grupos	1,597	2	,799	2,69	,08
	Intra-grupos	9,796	33	,297		
	Total	11,393	35			
CBIOMASA	Inter-grupos	1461240	2		5,71	,01
	Intra-grupos	4225438	33	730619,9		
	Total	5686678	35			
MO	Inter-grupos	3,141	2	1,571	1,69	,20
	Intra-grupos	30,650	33	,929		
	Total	33,791	35			
N	Inter-grupos	1,484E-02	2	7,42E-03	1,40	,26
	Intra-grupos	,175	33	5,30E-03		
	Total	,190	35			
pH	Inter-grupos	,384	2	,192	2,32	,11
	Intra-grupos	2,729	33	8,27E-02		
	Total	3,114	35			
QCO2	Inter-grupos	7751,243	2	3875.622	2,20	,13
	Intra-grupos	58115,578	33	1761,068		
	Total	65866,821	35			
C-CO ² /CO	Inter-grupos	,252	2	,126	1,65	,21
	Intra-grupos	2,523	33	7,65E-02		
	Total	2,775	35			
RB	Inter-grupos	223,556	2	111,778	,662	,52
	Intra-grupos	5568,958	33	168,156		
	Total	5792,515	35			

Igualmente, el estadístico ANOVA de un factor, Cuadro 4, permitió verificar las diferencias significativas por posición topográfica, introducidas por la presencia de la costra microbiótica en la variable N, todas con valores de significancia < 0.05. Mientras que las variables C-BM, RB, CO, MO, pH, C/N, CBM/CO, QCO₂ y C-CO₂/CO no presentaron diferencias significativas.

De la misma manera, se realizaron las comparaciones *Post hoc* o a posteriori utilizada para saber cuáles son las medias de las diferentes posiciones topográficas que más difieren (significancia < 0.05), mediante la herramienta Scheffé, las cuales dejaron en evidencia que la variable N, la variación de medias es entre cabecera y canal.

Cuadro 4. Análisis de varianza de un factor para comparar las medias de propiedades biológicas y químicas entre muestras de suelo con costra microbiótica por posiciones topográficas en las cárcavas

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CARBOHID	Inter-grupos	131,582	2	66,791	,961	,393
	Intra-grupos	2259,54	33	68,471		
	Total	2391,12	35			
CBM/CO	Inter-grupos	33,023	2	16,511	1,690	,200
	Intra-grupos	322,493	33	9,773		
	Total	355,516	35			
C/N	Inter-grupos	2,170	2	1,085	,380	687
	Intra-grupos	94,310	33	2,858		
	Total	96,481	35			
CO	Inter-grupos	,771	2	,385	1,197	,315
	Intra-grupos	10,622	33	,322		
	Total	11,393	35			
CBIOMASA	Inter-grupos	455124	2	227562	1,435	,252
	Intra-grupos	5,E+06	33	158532		
	Total	5,E+06	35			
MO	Inter-grupos	3,767	2	1,884	2,070	,142
	Intra-grupos	30,024	33	,910		
	Total	33,791	35			

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
N	Inter-grupos	3,5E-02	2	1,7E-02	3,670	,036
	Intra-grupos	,155	33	4,7E-03		
	Total	,190	35			
pH	Inter-grupos	,360	2	,180	3,157	,132
	Intra-grupos	2,754	33	8,3E-03		
	Total	3,114	35			
QCO ₂	Inter-grupos	659,520	2	329,760	,167	,847
	Intra-grupos	65207,3	33	1975,98		
	Total	65866,8	35			
C-CO ² /CO	Inter-grupos	7,1E-02	2	3,6E-02	,434	,651
	Intra-grupos	2,704	33	8,2E-02		
	Total	2,775	35			
RB	Inter-grupos	908,976	2	454,458	3,071	,060
	Intra-grupos	4883,60	33	147,988		
	Total	57,92,51	35			

Carbono de la Biomasa Microbiana (CBM)

Las muestras de suelo con costra microbiótica tienen una cantidad de biomasa microbiana más elevada en comparación a las muestras sin costras. El análisis a posteriori de los promedios de C-BM mostraron diferencias significativas en las distintas profundidades más no en las diferentes posiciones topográficas. Las concentraciones de C-BM oscilan entre 312 y 1003 ($\mu\text{gC g}^{-1}\text{suelo}$) en los primeros 2 mm en las muestras de suelo con costra en la diferentes posiciones topográficas, las cuales son altas si se comparan con las concentraciones encontradas por otros investigadores para suelos naturales ($450 \mu\text{g C g}^{-1}\text{ suelo}$) según García et al. (2000). La presencia de líquenes, briofitas y cianobacterias, sus residuos y productos, son sustratos carbonados que mantienen un microhábitat favorable a la biomasa microbiana. Asimismo, entre los talos liquénicos y hojas de briofitas se crean espacios para albergar microorganismos que participa en forma muy activa en la descomposición de la materia orgánica muerta que ingresa al suelo a través de la propia costra, y por otro lado, es una fuente de nutrientes (N, P, y S) para las plantas con una alta tasa de flujo de elementos. Por lo cual, ha sido relacionada con los procesos de mineralización de la materia orgánica (Bowker, 2007).

Evolución de CO₂ (RB)

En cuanto a los valores referidos a la RB, no presentaron diferencias significativas. Para los suelos estudiados se ha obtenido un valor medio entre 52 y 65 mg C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹ para muestra de suelo con costra y entre 33 y 66 para muestra de suelo sin costra, siendo muy altos en comparación a la concentración de 3,4 mg C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹ obtenida por García et al. (2000) en suelos naturales y mucho más alto que la concentración de 0,76 mg C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹ reportada en suelos áridos degradados del área mediterránea. Lange et al. (1994), obtuvieron valores entre (1,36-4,22 mg C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹) en costras compuestas de líquenes y musgos. Por tanto, la costra microbiótica en el Valle de Quíbor representa una contribución sustancial en el balance de C para este ecosistema, así como también el suelo sin costra.

Carbohidratos Totales (CAR-T)

Las concentraciones de CAR-T fueron más altas en las muestras de suelo con costras que en las muestras de suelo sin costras y presentan diferencias significativas (Cuadro 1). Esta fracción lábil de la materia orgánica (MO) varía mucho entre los suelos y más aún cuando está afectada por la degradación asociada a la erosión hídrica, la cual, a su vez, afecta la actividad microbiana en la costra microbiótica. Muestra de ello son las diferencias significativas de la concentración de CAR-T (Ver Cuadro 2). Las cianobacterias reducen el CO₂ a carbohidratos y liberan O₂, de allí su importancia en estos ecosistemas (Tisdale y Nelson, 1975; Malam et al., 2001b).

Carbono Orgánico (CO)

En general las muestras de suelo sin costra presentan baja concentraciones de CO, mientras que las muestras de suelo con costra se observó un cambio ligero a mediana concentración sin presentar diferencias significativas. La efectividad de la costra microbiótica compuesta de plantas no vasculares, para suplencia de CO al suelo, ha

sido reportada en múltiples investigaciones que advierten su capacidad de tomar minerales y aportar restos orgánicos, mucílagos, exudados, entre otras, con lo cual contribuye a la acumulación de CO en el suelo (Malam et al., 2001b; Belnap et al., 2003; Bowker, 2007).

Cociente Metabólico (qCO_2)

Los valores de qCO_2 para las muestras sin costras son significativamente más altos en comparación con los valores de las muestras con costras (Cuadro 1) y presentan diferencias significativas (Cuadro 2). Valores más altos de qCO_2 podrían indicar una disminución en la eficiencia de los microorganismos. En cambio, en los primeros 2 mm del suelo donde se establece la costra microbiótica, el qCO_2 es bajo, lo cual refleja que los microorganismos son más eficientes metabólicamente, que disponen de más C para mineralizar y que están adaptados al estrés hídrico existente de la zona.

Cociente Microbiano (C-BM/CO) y Coeficiente de Mineralización del Carbono (C-CO₂/CO)

El cociente C-CB/CO mostró diferencias significativas entre las muestras de suelo con costra y sin costra, lo que señala que los microorganismos que componen las muestras de suelo con costra microbiótica son más eficientes en el uso del carbono, pues los valores de este cociente son más altos (Toledo, 2006), lo cual demuestra que la biomasa microbiana no se encuentra en una proporción similar respecto al contenido de MO.

Por otra parte, el coeficiente C-CO₂/CO en las muestras de suelo sin costra es más alto con respecto a las muestras de suelo con costra, presentando diferencias significativas, lo que implica que más CO se está mineralizando y pasando a CO₂. Tal vez, los compuestos orgánicos en las muestras con costra contienen poco material recalcitrantes, pues ninguno de estos dos grupos (briofitas y líquenes crustáceos) pueden utilizar hidratos de carbono tal como la lignina (Scott, 1976) y las briofitas no contienen lignina (Qiu y Palmer, 1999). La ausencia de macroorganismos

(briofitas y líquenes) en las muestras de suelo sin costra, pudiera generar procesos con consecuencias diferentes sobre la materia orgánica pues no se descarta la posibilidad de la inoculación natural incipiente desde las zonas con costra a suelo desprovisto de ella, ya que los valores de CO no muestran diferencias (Ver Cuadro 2).

pH

Los valores de pH en las muestras de suelo con costra y sin costra en las diferentes posiciones topográficas y profundidades son similares. El suelo con y sin costra presentó una reacción moderadamente alcalina pH 8.3. No hay evidencias en pH que permitan encontrar diferencias en las propiedades biológicas. Al tratarse de una zona árida, el proceso de lixiviación de bases es muy limitado, lo cual se refleja en valores de pH relativamente altos.

Si bien el coeficiente de mineralización de carbono implica cierta acidificación del medio, los musgos secretan sustancias alcalinas y usan la alta capacidad de intercambio catiónico de sus hojas para amortiguar el pH de la superficie de las mismas (Davey y Marchant, 1983). Tal situación conlleva también a mantener el pH.

Nitrógeno Total y Relación C/N

El contenido de nitrógeno mostró diferencias significativas entre las muestras de suelo con costra y sin costra (Ver Cuadro 2). Así mismo, el contenido de nitrógeno en muestras de suelo con costra presentó diferencias significativas entre las cabeceras y los canales). Según Evans y Lange (2001) el mayor contenido de nitrógeno ocurre debajo de las plantas vasculares (con o sin costra) en comparación con los inter-espacios con costras donde hay ausencia de plantas vasculares, tal como ocurre en los canales.

En consecuencia, el nitrógeno en los suelos con costra se debe a la presencia de las cianobacterias tipo *Nostoc*, (Toledo, 2006) las cuales

fijan el nitrógeno atmosférico, siendo muy efectiva esta fijación a $\text{pH} \geq 7$ (Davey et al., 1983).

La relación C/N es menor de 20, es decir, una relación baja, rica en nitrógeno. La liberación extracelular de compuestos nitrogenados ocurre tanto en las cianobacterias como en los líquenes (Stewart 1970; Millbank, 1982). Esta es más pronunciada en los organismos fijadores de nitrógeno, los cuales liberan entre 5 a 70% del nitrógeno fijado. La liberación es mayor cuando el pH, la temperatura, la luz, el CO_2 o la condición iónica no son óptimas o durante el humedecimiento después de la desecación (Malam et al., 2000a; Zaady et al., 1998). Algo del nitrógeno liberado es reasimilable por la cianobacteria o líquen, pero la *Nostoc* tiene una habilidad limitada para hacer eso (Meeks et al., 1985).

Los valores obtenidos de las propiedades biológicas y bioquímicas en esta investigación representan un aporte importante en los distintos estudios de costras biológicas en Venezuela, pues hasta los actuales momentos no han sido reportados.

CONCLUSIONES

La costra microbiótica contribuye a la fertilidad del suelo como factor ecológico 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.

Lo anterior sugiere la potencialidad de aprovechamiento de la costra microbiótica en los ecosistemas áridos y semi-áridos como reservorio de macro y microorganismos concentrados sobre pocos milímetros del suelo y a la vez, en la rizosfera del mismo, además, promueve a la reducción de la pérdida de la fertilidad del suelo, la cual es particularmente alta en estos ecosistemas.

Agradecimiento

A la Lic. Zuly Millán por su trabajo en el tratamiento estadístico de los datos. Igualmente a las Profesoras Diana Hernández de Szczurek y Francesca Creazolla de Oppelz en el desarrollo experimental del análisis de carbohidratos totales. Y a la Dra. Rosa Mary Hernández en la asesoría en el procesamiento químico del análisis de carbono de la biomasa microbiana.

REFERENCIAS

- Anderson, J. y Ingram, J.(1993). *Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods*. (2^{da}. ed.). UK. CAB International, Wallingford
- Anderson, J. (1982). Soil respiration. En A.L. Page, R.H Miller y D. Keeney. (Comp), *Methods of soil analysis, part 2*. (2^{da} ed.). (pp.837-871).Agron. Monogr.9. ASA and SSSA. Madison
- Anderson, T. y Domsch, K. (1993). The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as aspecific activity parameters to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of the soil. *Soil Biology and Biochemistry* 25,393-39
- Andressen, R. (2007).Circulación atmosférica y tipos de climas. *Medio físico y recursos ambientales. Tomo 2, GeoVenezuela* (pp.238-328). Caracas. Fundación Empresas Polar
- Belnap, J. (1993). Recovery rates of cryptobiotic crusts: inoculant use and assessment methods. *Great Basin Naturalist*, 53 (1), 89-95
- Belnap, J., Hawkes, Ch. y Firestone, M. (2003). Boundaries in miniature: two examples from soil. *BioScience* 53(8), 739-749
- Beymer, R.y Klopatek, J. (1991). Potencial contribution of carbon by microphytic crusts in Pinyon-Juniper woodlands. *Arid Soil Res. Rehab*, 5, 187-198
- Bowker, M., Belnap, J., Davidson, D. y Goldstein, H. (2006). Correlates of biological soil crust abundance across a continuum of spatial scales: support for a hierarchical conceptual model. *Journal of Applied Ecology*, 43, 152-163
- Bowker, M. (2007). Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: an underexploited opportunity. *Restoration Ecology*, 15(1), 13-23

- Davey, A. y Marchant, H. (1983). Seasonal variation in nitrogen fixation by *Nostoc commune* Vaucher at the Vestfol Hills, Antarctica. *Phycologia*, 22, 377-385
- Dommergues, Y. (1960). La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *L'Agronomie Tropicale*, 15(1), 54-60
- Dubois, M., Gilles, A., Hamilton, J., Rebers, P. y Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356
- Eldridge, D. y Greene, R. (1994). Microbiotic soil crust: A review of their roles in soil and ecological processes in the Rangelands of Australia. *Australian Journal Soil Research*, 32, 389-415
- Elizalde, G., Viloria, J. y Rosales, A. (2007). Geografía de suelos de Venezuela. *Medio físico y recursos ambientales. Tomo 2. GeoVenezuela* (pp.402-537). Caracas. Fundación Empresas Polar
- Evans, R., y Lange, O. (2001). Biological soil crust and ecosystem nitrogen and carbon dynamics. En J. Belnap y O. L. Lange (Comp), *Ecological Studies: Vol. 150. Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*. (pp.263-279). Springer-Verlag. Berlin
- García, C., Hernández, T., Pascual, J., Moreno, J. y Ros, M. (2000). Actividad microbiana en suelos del sureste español sometidos a procesos de degradación y desertificación. Estrategias para su rehabilitación. En: C. García y M^a Teresa Hernández (Comp), *Investigación y Perspectivas de la Enzimología de suelos en España* (pp.43-92). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Madrid, España
- Lange, O., Meyer, A., Zellner, H. y Heber, U. (1994). Photosynthesis and water relations of lichen soil crust: field measurements in the coastal fog zone of the Namib Desert, *Functional Ecology*, 8, 253-264
- Lange, O. (2001). Photosynthesis of Soil-Crust biota as dependent on environmental factors. En J. Belnap y O.L. Lange (Comp), *Ecological Studies: Vol. 150. Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management* (pp.219-240). Springer-Verlag Berlin
- Maestre, F. (2003). Variaciones en el patrón espacial a pequeña escala de los componentes de la costra biológica en un ecosistema mediterráneo semiárido. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(1), 35-46

- Malam, O., Stal, L., Défarge, C., Couté, A. y Trichet, J. (2001a). Nitrogen fixation by microbial crust from desiccated Sahelian soils (Niger). *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 1425-1428
- Malam, O., Le Bissonnais, Y., Défarge, C. y Trichet, J. (2001b). Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sand soils in the Sahelian part of western Niger. *Goederma*, 101, 15-30
- McGill, W., Figueired, C. (1993). Total Nitrogen. En Martin R. Carter (ed.), *Soil Sampling and Methods analysis* (pp. 201-211). Lewis Publishers. London
- Meeks, J., Enderlin, C., Joseph, C., Chapman, J. y Lollar, M. (1985). Fixation of [^{15}N] N_2 and transfer of fixed nitrogen in the *Anthoceros-Nostoc* symbiotic association. *Planta*, 164, 406-414
- Millbank, J. (1982). The assessment of nitrogen fixation and throughput by lichens. III. Losses of nitrogenous compounds by *Peltigera membranacea*, *P. polydactyla* and *Lobaria pulmonaria* in simulated rainfall episodes. *New Phytologist*, 97, 229-234
- Proctor, M., y Tuba, Z. (2002). Poikilohydry and homoihydry: antithesis or spectrum of posibilidades? *New Phytologist*, 156, 327-349
- Qiu, Y.-L., y Palmer, J.D. (1999). Phylogeny of early land plants: insights from genes and genomes. *Trends in Plant Science*, 4, 26-30
- Scott, G. (1976). Simbiosis vegetal. *Cuadernos de Biología*. Omega. Barcelona
- Sparling, G., y West, A. (1988). Modifications to the fumigation-extraction technique to permit simultaneous extraction and estimation of soil microbial C and N. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 19, 327-344
- Stewart, W. (1970). Algal fixation of atmospheric nitrogen. *Plant and Soil*, 32, 555- 588
- Tisdale, S., Nelson, L. (1975). *Soil fertility and Fertilizers*. (3 ed.). Macmillan Publishing Co., New York
- Toledo, V. (2006). *Caracterización de la costra microbiótica y su influencia biológica y física en suelos de la región árida de Quibor, estado Lara*. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay
- Zaady, E., Groffman, P. y Shachak, M. (1998). Nitrogen fixation in macro and microphytic patches in the neveg desert. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 449-454