

## ESTUDIO PRELIMINAR DE LA INFLUENCIA DE LA COSTRA MICROBIÓTICA EN LOS SUELOS DE QUÍBOR, ESTADO LARA, VENEZUELA, MEDIANTE MICROANÁLISIS DE RAYOS-X (EDS)

Toledo, V.<sup>1</sup>\* Urbina de Navarro, C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Departamento de Geografía,

<sup>2</sup>Centro de Microscopía Electrónica “Mitsuo Ogura”. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

\*Autor de Correspondencia: toledo.valentina@gmail.com

*Recibido en Noviembre 27, 2007. Aceptado en Abril 15, 2008.*

*Publicado en-línea: Mayo 30, 2008*

### RESUMEN

En la localidad de Quíbor, estado Lara, Venezuela se desarrolla sobre el suelo una costra microbiótica compuesta por organismos fotosintéticos con un espesor no mayor de 3 mm, constituidas por algas, cianobacterias, hongos, musgos (briofitas) y líquenes. El objetivo de esta investigación consiste en determinar los elementos químicos que componen la matriz del suelo con costra microbiótica en la interfase suelo-estructura morfológica de anclaje y en muestras de suelo sin costra mediante el análisis de rayos X característicos, utilizando una microsonda de electrones y un detector de dispersión de energía (EDS). El análisis reveló que la composición química de la muestra del suelo cercano a los bordes de las diferentes estructuras de anclaje (rizoides y risinas) es similar a la muestra de suelo con presencia de cianobacterias; mientras que en las muestras de suelo con costra microbiótica es mayor el contenido de calcio que en el suelo sin costra microbiótica. La presencia de cianobacterias en el suelo posiblemente promueve condiciones para el establecimiento y mantenimiento de las briofitas. La técnica de análisis utilizada permite determinar los elementos químicos en la interfase suelo-estructura morfológica de anclaje sin perturbar la organización de los componentes de la costra microbiótica.

**Palabras Clave:** Costra microbiótica, Microanálisis, Rayos X, Suelos, Microestructura.

### STUDY OF THE MICROBIOTIC CRUST IN THE SOILS DE QUÍBOR, LARA STATE, VENEZUELA BY MEANS OF MICROANALYSIS OF X-RAY (EPMA)

### ABSTRACT

A microbiotic crust, consisting photosynthetic organisms, develops in about the first 3mm of surface in the locality of Quíbor Lara state, Venezuela. The crust is constituted by algae, cyanobacteria, mosses (bryophytes) and lichens. The objective of this investigation is the determination of the chemical elements that compose the matrix of the soil with microbiotic crust in the interphases morphological soil-structure of anchorage and in soil samples without crust by means of the elemental analysis studies by using X-ray microanalytical (EDS). The EDS elemental revealed that the sample of the soil close to the borders of the different anchorage structures (rhizoids and rhizines) is similar to the samples where the cyanobacteria lie, while in the samples with microbiotic crust, the calcium content is bigger than in the soil without microbiotic crust. The cyanobacteria presence in the soil probably promotes conditions for the establishment and maintenance of the bryophytes. This microscopic technique allow to show the chemical elements in the interphases morphological soil-structure of anchorage without perturbing the organization of the components of the microbiotic crust.

**Keywords:** Microbiotic crust, Microanalysis, X-ray, Soil, Microstructure.

### INTRODUCCIÓN

La mayoría de los estudios de suelos son realizados a escala de bioma o paisaje, sin embargo, pueden realizarse a diferentes escalas hasta llegar a escalas muy pequeñas sobre todo para el estudio de procesos y sistemas de flujo de energía en un ecosistema. Las dimensiones de estas escalas pueden llegar hasta pocas micras, por ejemplo en la interfase atmósfera-suelo y la transición entre el suelo

y las raíces de las plantas, esta última conocida como la rizósfera.

La mayoría de los procesos en los ecosistemas dependen de la entrada de gases atmosféricos, nutrientes y agua; con excepción del CO<sub>2</sub> y la meteorización de las rocas, la mayoría de los requerimientos hacia los ecosistemas terrestres suceden a través de la superficie del suelo. En muchas regiones climáticas la superficie del suelo está

mayormente cubierta con plantas vasculares y arbustos, complicando aún más la evaluación de este contacto, mientras que en las regiones áridas y semiáridas la cubierta de plantas vasculares, en promedio, se encuentra limitada en la superficie del suelo y está directamente en contacto con el aire [1].

En la localidad de Quíbor, estado Lara, se desarrolla una costra microbiótica compuesta por organismos fotosintéticos con un espesor sobre el suelo no mayor de 3 mm, está constituida por algas, cianobacterias, hongos, musgos (briofitas) y líquenes y en ausencia de perturbaciones estos organismos y sus exudados gomosos se asocian con partículas inorgánicas, formando una capa en la superficie del suelo que se hace más cohesiva con el tiempo [2, 3]. Por consiguiente, las costras biológicas generan diversas formas de influencia biótica en la estructura del suelo, las cuales pueden ser evaluadas a través de los organismos, por las actividades que en ellos se desarrollan y finalmente por los productos.

La mayoría de los diferentes estudios de costras biológicas se han orientado en la evaluación de comunidades, morfología y composición de especies, distribución geográfica, ciclo de nutrientes, estabilización de suelo, y cambios después de una perturbación tales como pastoreo, fuego y tormentas en los desiertos [4, 5, 6, 7, 8]. En Venezuela, en las sabanas de *Trachypogon* en los llanos del Orinoco [9] reportaron costras de algas. Los autores resaltan el rol de las algas en el balance de carbono para estos ecosistemas y concluyen que el hábitat de la costra en estas sabanas se diferencia principalmente por las condiciones de microclima, tipo de vegetación e impacto humano. Aún cuando los autores mencionan la existencia de una costra, no la describen como tal, más bien, aislaron un alga particular y estudiaron su actividad en el suelo. Por el contrario, [10] describen y señalan la distribución de un biofilm cianobacteriano/alga y un tapete cianobacteriano sobre la superficie de las rocas graníticas que dominan el paisaje al norte del Orinoco y en los suelos de la sabana en

Guayana respectivamente. De la misma manera, en los tepuyes [11] describen un biofilm compuesto de cianobacterias, hongos y algunos líquenes que cubre de forma masiva la superficie rocosa y promueve la biocorrosión. Por otro lado, la influencia de la costra biológica en la fragmentación de la roca granítica ha sido estudiada con espectroscopía de energía dispersiva (EDS) y difracción de rayos X (DRX) [12]. Con estas técnicas de análisis, concluyeron que los ácidos orgánicos de la actividad de la costra contribuyen a la ruptura de la roca granítica, además los hongos aceleran la ruptura, a través del crecimiento de las hifas de hongos a lo largo de los planos de clivaje en los minerales primarios cloríticos. Por tanto, la idea de interpretar la funcionalidad de estos tapetes biológicos con la combinación de diversas técnicas como la óptica, microscopía fluorescente, microanálisis de rayos X característicos, entre otros, es cada vez más frecuente en los estudios de suelo y así lo demuestran las investigaciones [13, 14, 15].

Con esta premisa, el objetivo de esta investigación, consiste en detectar mediante los estudios de análisis elemental (EDS), los elementos químicos que componen la matriz del suelo con costra microbiótica en la interfase suelo-estructura morfológica de anclaje y en muestras de suelo sin costra.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Muestreo*

El sector se ubica en la zona nororiental Depresión de Quíbor, estado Lara, aproximadamente a los 09° 54' - 09° 57' Norte y 69° 35' - 69 °37' Oeste, Municipio Jiménez. Altitud entre 600- 800 m.s.n.m. El lugar de muestreo de la costra microbiótica es una zona natural que no ha sido mecanizada ni ha tenido ningún tipo de práctica de manejo. Sobre este terreno, se trazaron dos transectas perpendiculares a la carretera Los Jebes, atravesando la quebrada Los Barrancos, en dirección al crecimiento de las cabeceras de las cárcavas NO-SE. Las longitudes de las transectas 1 y 2, fueron de 675 y 375 m

respectivamente, separadas entre sí por una distancia de 750 m aproximadamente (Figura 1).

dificultad que plantea la determinación in situ de las especies que componen la costra biológica y a la relación entre la morfología y la función que presentan, la utilización de una clasificación morfológica ha sido propuesta recientemente para el muestreo en el campo [6, 16]. En este estudio se utilizó la clasificación por grupos morfológicos para identificar a los distintos componentes de la costra microbiótica [16]. Aún así, en algunos casos se menciona la familia. Entre los grupos establecidos por estos autores, dos son los más abundantes en la zona de estudio y se incluyen en este trabajo: musgos y líquenes crustáceos. Como tercer grupo se encuentran las cianobacterias. Los musgos poseen hojas crispadas-retorcidas acompañadas de una reducción del tamaño de la lámina y un incremento en el grado de enrollamiento de los márgenes curvados y está dominada por Pottiaceae. El segundo está constituido por líquenes con apotecios de color gris y negro en su totalidad, se encuentran adheridos al sustrato, alternando con líquenes Caloplaca. Las cianobacterias presentan estructuras semejantes a la tipo *Nostoc* sp. y *Oscillatoria* sp. [7].

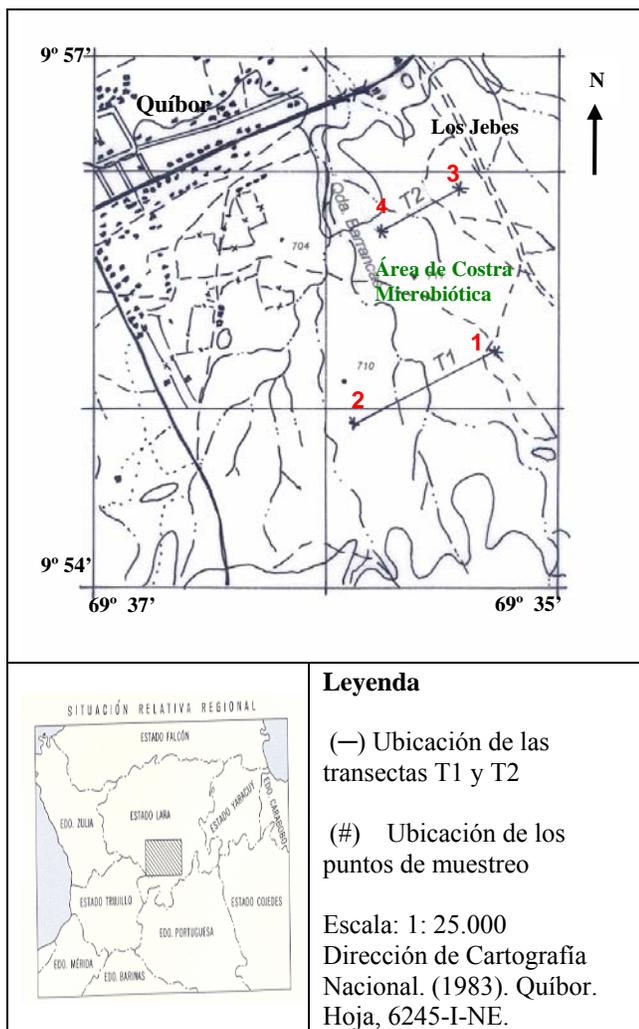


Figura 1. Localización del área de estudio y puntos georeferenciados

Del total de las muestras colectadas, se seleccionaron al azar entre los 4 puntos de las transectas, dos muestra de cima, dos de flanco y dos de valle con costra e igualmente sin costra, a una profundidad de 0- 10 mm del perfil de suelo.

#### *Componentes de la costra por grupo morfológicos*

La morfología de los componentes de la costra biológica es fundamental para el momento de determinar su función ecológica en relación a procesos como la infiltración, erosión, retención de la humedad y resiliencia frente a las perturbaciones [16]. Debido a la

#### *Preparación de la muestra para el análisis elemental usando rayos X característicos*

Las muestras de suelo con costra y sin costra microbiótica se montaron sobre porta muestras de aluminio usando cinta doble adherente de carbón y se cubrieron con carbono para su análisis elemental mediante EDS. En la Tabla I se detallan los puntos perimetrales seleccionados sobre las muestras de suelo con costra y sin costra microbiótica. El espectro fue colectado sobre cada grupo morfológico abarcando la superficie completa. La Figura 2 representa las diferentes partes de los especímenes que a su vez, constituyen los puntos perimetrales anteriormente descritos en la Tabla I. A través del análisis por energía dispersiva de rayos X característicos (EDS), se logró identificar dentro de los macroorganismos (líquenes y briofitas), en sus bordes y fuera de éstos, así como donde se encuentra la

cianobacteria, la composición elemental en diferentes muestras con costra microbiótica y sin costra. Los resultados se resumen en la Tabla II.

Tabla I. Selección de puntos perimetrales de las muestras con costra y muestra sin costra microbiótica.

Nº	Muestra	Selección de puntos perimetrales
1	Líquén crustáceo con apotecios de color gris y negro en su totalidad.	Desde los apotecios hasta los 3 mm de profundidad donde se ubican la red de risinas.
2	Musgo: briofita Pottiaceae	Desde el ápice de la hoja hasta los 3mm de profundidad donde se ubican los rizoides.
3	Cianobacteria: estructuras semejantes a la tipo Nostoc sp. y Oscillatoria sp.	Manchas verdes azuladas alrededor de las briofitas y líquenes crustáceos.
4	Muestra sin costra biológica	Sección longitudinal.

Musgo: Briofita **Pottiaceae**

Liquen crustáceo

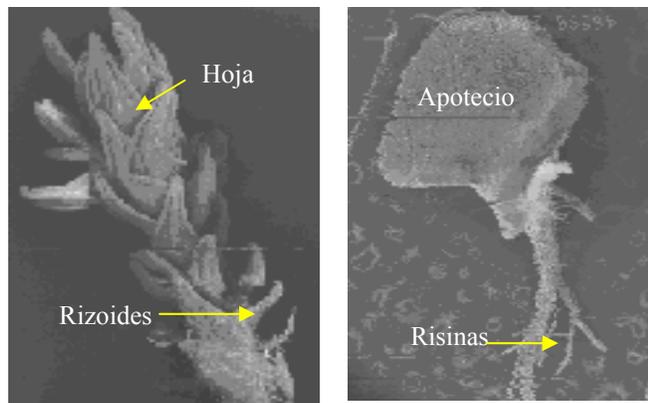


Figura 2. Partes de una briofita y un liquen

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través del análisis por energía dispersiva de rayos X característicos (EDS), se logró identificar dentro de los macroorganismos (líquenes y briofitas), en sus bordes y fuera de éstos, así como donde se encuentra la cianobacteria, la composición elemental en diferentes muestras con costra microbiótica y sin costra. Los resultados se resumen en la Tabla II.

En las muestras con manchas verdes azuladas (cianobacterias), los espectros revelan en orden de abundancia, los siguientes elementos: O>Si>Al>Fe>Ca>K>Ti>Mg>Na. No se detectó P ni S; los valores de Ca se encuentran entre 4-5 %. La Figura 3 es un espectro típico de EDS obtenido en el análisis de suelo adyacente a la cianobacteria.

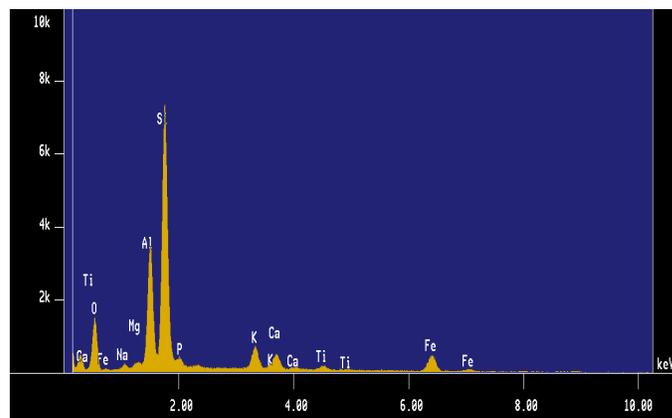


Figura 3. Espectro de rayos-X característico de suelo adyacente a la cianobacteria

En las muestras de suelos con briofitas, la composición química varía en las diferentes zonas analizadas: ápice de la hoja, rizoides y suelo adyacente a los rizoides.

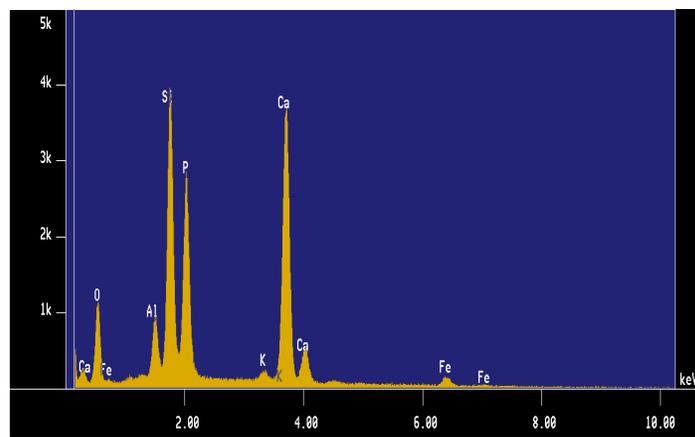


Figura 4. Espectro de rayos-X característico de hoja de briofita

Tabla II. Porcentaje atómico de los elementos contenidos en los macroorganismos y microorganismos que conforman la costra microbiótica, suelo adyacente a las estructuras de anclaje y muestras de suelo sin costra

Sector Muestreado Elementos Químicos	% Atómico										
	O	Si	Al	Fe	Ca	K	Mg	Ti	Na	S	P
Cianobacterias	43,8	30,4	10,2	7,2	4,9	3,2					
Suelo adyacente 1	40,8	32,2	11,8	5,3	4,8	3,1	0,7	0,4	0,4		
Suelo adyacente 2	40,0	34,1	5,6	10,1	5,4	2,6	0,7	0,8	0,2		
Hoja de Briofitas 1	52,9	3,9	2,4		32,2	3,9	1,2			1,8	1,3
Hoja de Briofitas 2	53,6	22,5	8,5	1,9	11,3	1,9					
Ápice de la hoja 3	40,2	29,4	9,9	7,4	10,2	2,5					
Suelo en los rizoides	39,8	29,0	9,7	7,3	10,0	2,5	0,8	0,6			
Apotecio del líquen 1	69,4	17,6	11,1				0,8		0,9		
Apotecio del líquen 2	64,4	20,8	11,8		0,4	1,1	0,9		0,2		
Hifas	53,4	30,9	8,2	1,8	3,7	1,6					
Suelo adyacente	62,1	20,3	12,0		3,5	1,9					
Suelo sin costra	30,7	22,8	11,2	27,7	2,9	2,9		1,5			

En los resultados obtenidos no se detectó la presencia de Ti en las hojas de briofita. Sin embargo, abunda el Ca con valores entre 10-32 % siendo mayores a los valores encontrados en las muestras con cianobacterias. En la Figura 4 el pico correspondiente al elemento Ca (en briofitas) es mucho mayor que para la cianobacteria mostrado en la Figura 3.

Finalmente, las muestras de suelo sin costra, los espectros mostraron los siguientes elementos: O>Fe>Si>Al>Ca>K>Ti. La Figura 5 representa un espectro típico de una muestra de suelo sin costra microbiótica.

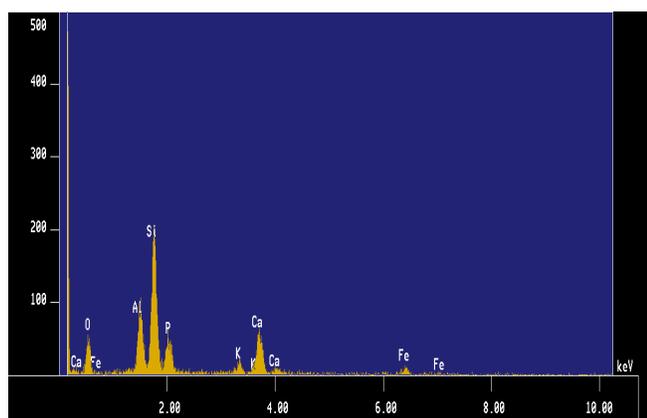


Figura 5. Espectro de rayos X característicos de una muestra de suelo sin costra.

Las cianobacterias producen el CO<sub>2</sub> atmosférico el cual junto con H<sub>2</sub>O formará H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, el que a su vez produce

CO<sub>3</sub> [1]. A medida que las colonias de cianobacterias van creciendo y extendiéndose sobre la superficie calcárea que ellas mismas van formando, precipitan carbonatos [15] y la formación de este biomineral, posiblemente promueven condiciones para establecimiento de las briofitas [7].

Al igual que las muestras de suelo con briofitas, en las compuestas de líquenes, los espectros muestran en orden de abundancia la siguiente composición: O>Si>Al>Ca>K>Na. No se detectó Ti.

Finalmente, en la muestra de suelo sin costra, el análisis de EDS mostró la presencia de los siguientes elementos: O>Fe>Si>Al>Ca>K>Ti.

A partir de estos resultados, se pueden describir otras consideraciones. La asociación de Ca y O lograría indicar la presencia de calcita, mientras que la asociación del Si y O indicarían la de cuarzo. La determinación de Si, Al, O, y K puede indicar la presencia de aluminosilicatos (minerales de arcilla). Al agregar algunas gotas de HCl sobre las muestras de suelo con costra microbiótica se observó la reacción de efervescencia, lo cual permite comprobar la presencia de carbonato de calcio. En la Tabla III se resume las posibles fases presentes en estos suelos.

Tabla III. Posibles asociaciones en el suelo

Asociaciones de elementos	Fases
Si y O	Cuarzo
Si, Al O y K	Aluminosilicatos
Ca y C (*)	Calcita

(\*) No se registró porque las muestras estaban cubiertas con carbón.

Si se comparan las composiciones químicas encontradas es posible ver la similitud tanto cualitativa como cuantitativa (%).

Las briofitas y los líquenes son comunes en suelos de textura fina y no en los arenosos [17,18]. El pH del suelo también determina la distribución de unas pocas especies confinadas para suelos con alto nivel de calcio extraíble [17, 6] y altamente alcalinos; quizás es lo que está ocurriendo en la costra, pues no se aprecian situaciones diferentes entre los macroorganismos (líquenes y briofitas) y el dominio de un elemento químico particular que pudiera estar determinando su establecimiento. Las partículas inorgánicas alrededor del material biológico presentan una composición dependiente de su material de origen, sedimentos lacustrinos calcáreos [19].

La función de las estructuras de anclaje (rizoides y risinas) es fijar a las briofitas y a los líquenes al sustrato, es decir, estas estructuras no funcionan como elementos conductores; todo el aporte de agua y nutrientes son obtenidos por deposiciones atmosféricas y luego aprovechadas en las briofitas a través de las hojas y en los líquenes por el apotecio.

Los niveles de Fe en los muestras de suelo sin costra son mayores en comparación con las muestras de suelo con costra; los hongos y líquenes interactúan con minerales, metales, compuestos metaloides y orgánicos a través de los procesos biomecánicos y bioquímicos, colocándolos como agentes de biometeorización y de biotransformación [20, 21, 11] probablemente sea una de las funciones de la costra microbiótica en los suelos de Quíbor. Otra función posiblemente sería que las briofitas

acumularan Ca, lo que promovería su mantenimiento y así ha sido señalada en diversas investigaciones [22, 23].

## CONCLUSIONES

Los organismos tales como las briofitas, los líquenes y cianobacterias que componen la costra microbiótica, crecen y se mantienen sobre un suelo de sedimentos lacustrinos calcáreos.

La composición elemental del suelo cercano a los bordes de las diferentes estructuras de anclaje (rizoides y risinas) es similar a donde se encuentran las cianobacterias; mientras que en las muestras donde se encuentran las briofitas, es mayor el contenido de calcio que en el suelo sin costra microbiótica.

La técnica empleada en esta investigación permitió analizar in situ los diferentes componentes de la costra microbiótica, ambos orgánicos e inorgánicos sin una aparente perturbación en la organización de los mismos.

## AGRADECIMIENTO

Las autoras agradecen el apoyo del Prof. Efraín Moreno (UPEL-IPC) en la identificación de los distintos especímenes que componen la costra microbiótica. Igualmente, al Centro de Microscopía Electrónica “Mitsuo Ogura”. Universidad Central de Venezuela, y al proyecto Lab-2001001442, Finalmente, a la OPSU, por su financiamiento a través del programa “Alma Mater”.

## REFERENCIAS

- [1] Belnap J., Hawkes C., Firestone M. (2003) “Boundaries in miniature: two examples from soil” *BioScience* 53:739-749.
- [2] Bailey D., Mazurak P., Rosowski J. (1973) “Aggregation of soil particles by algae” *Journal Phycology* 9:99-101.
- [3] Campbell S., Seeler J., Golubic S. (1989) “Desert crust formation and soil stabilization” *Arid Soil Research and Rehabilitation* 3: 217-228.

Toledo, V., Urbina de Navarro, C.

- [4] Eldridge D., 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.
- [5] Malam O., Trichet J., Défarge C., Couté A., Valentin C. (1999) "Morphology and microstructure of microbiotic soil crusts on a tiger bush sequence (Niger, Sahel)" *Catena* 37:175-196.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Malam O., Le Bissonnais Y., Défarge C., Trichet J. (2001) "Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger" *Geoderma* 101:15-30.
- [9] San José José Juan., Bravo C. (1991) "CO<sub>2</sub> exchange in soil algal crusts occurring in the Trachypogon savannas of the Orinoco Llanos, Venezuela" *Plant and Soil* 135(2):233-244.
- [10] Budel B., Huber O., Luttge U., Medina E., Stelzer R. (1994) "Cyanobacteria of rocks and soils of the Orinoco lowlands and the Guayana uplands, Venezuela" *Botanica Acta* 107(6):422-431.
- [11] Gorbushina A., Boettcher M., Krumbein H.-J.B.W.E., Vendrell-Sanz M. (2001) "Biogenic Forsterite and Opal as a product of biodeterioration and lichen stromatolite formation in table mountain systems (Tepuis) of Venezuela" *Geomicrobiology Journal* 16:117-132.
- [12] Arocena J., Zhu L., Hall K. (2003) "Mineral accumulations induced by biological activity on granitic rocks in Qinghai Plateau, China" *Earth Surface Processes and Landform* 28(13):1429-1437.
- [13] Souza-Egipsy V., Ascaso C., Sancho L. (2002) "Water distribution within terricolous lichens revealed by scanning electron microscopy and its relevance in soil crust ecology" *Mycological Research* 106:1376-1374.
- [14] De los Ríos A., Wierzychos J., Sancho L., Ascaso C. (2003) "Acid microenvironments in microbial biofilms on Antarctic endolithic microecosystems" *Environmental and Microbiology* 5:231-237.
- [15] De los Ríos A., Ascaso C., Wierzychos J., Fernández V., Quesada A. (2004) "Microstructural characterization of cyanobacterial mats from the McMurdo Ice Shelf, Antarctica" *Applied and Environmental Microbiology* 70(1):569-580.
- [16] Rosentreter R., Eldridge D., Kaltenecker J. (2001) "Monitoring and management of biological soil crust" En J. Belnap y O.L. Lange (Comp), *Ecological Studies: Vol. 150. Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management* Berlin: Springer-Verlag, pp.457-468.
- [17] Rogers R., Lange R. (1972) "Soil surface lichens in arid and sub-arid south-eastern Australia. Introduction and floristics" *Australian Journal Botany* 20:197-213.
- [18] Rogers R. (1977) "Lichens in hot arid and semi-arid lands" En: *Lichen Ecology*. (Comp. R.D. Stewart) London, Academic Press, pp. 211-252.
- [19] Malagón D. (1978) "Mineralogía, Génesis y Aspectos Físicos derivados, en los principales suelos de la Depresión de Quíbor, estado Lara, Venezuela" *V Congreso de la Ciencia del Suelo*, Barquisimeto, 150 pp.
- [20] Burford E., Fomina M., Gadd G. (2003) "Fungal involvement in bioweathering and biotransformation of rocks and minerals" *Mineralogical Magazine* 67(6):1127-1155.

- [21] Trindade E., Schaefer C., Albuquerque M., Abrahao W., Mello J., Chagas A. (2001) “Costas biológicas em saprolitos de gnaisse: ciclagem biogeoquímica, micromorfologia e ensaio de colonizacão” *Revista Brasileira do Ciencia do Solo* 25:849-861.
- [22] Mulgrew A., Williams P. (2000) “II Heavy Metals, Bryophytes. Biomonitoring of Air Quality Using Plants” *Air Hygiene Report Nº 10*, Berlín, WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, pp. 13-28.
- [23] Belnap, J., Hilty J., Rosentreter R., Williams John., Leonard S., Eldridge, D. (2001). *Biological Soil Crusts: Ecology and Management*. United Denver, Colorado: States Department of the Interior. 110pp.