

Composición de las costras microbióticas y su influencia en algunas propiedades del suelo en una zona semiárida

Microbiotic crusts composition and its influence on soil properties in semiarid

Franklin Núñez Ravelo
franklingeove@hotmail.com

Universidad Pedagógica Experimental Libertador – Instituto Pedagógico de Caracas
- Centro de Investigación “Estudios del Medio Físico Venezolano”- Centro de Investigación en Ciencias Naturales “Manuel Ángel González Sponga”

Recibido en mayo de 2013 y publicado en septiembre 2013

RESUMEN

El propósito fue analizar la influencia de las especies constitutivas de las costras microbióticas en algunas propiedades fisicoquímicas del suelo. Se desarrollaron tres fases: (a) campo, al sur de la quebrada Los Barrancos en el Valle de Quibor, permitió recolectar las muestras de suelo con y sin costras; (b) Laboratorio, a fin de realizar las determinaciones de las variables en estudio en las muestras de suelos, discriminando las que presentan costras por grupos morfológicos; (c) interpretación de los resultados, mediante un análisis de varianzas (ANOVA). Los resultados muestran que en donde predomina el Liquen, presentan una tendencia hacia valores más alto de alcalinización de los suelos, mientras que las que presentan solo Briofita tienden hacia pH neutro y valores significativamente mayores CO_3 , CO_2 y Materia Orgánica. No se evidencian variaciones asociadas a los grupos morfológicos que constituyen la costra en las propiedades salinidad, C.E y humedad.

Palabras clave: Briofita; costra microbiótica; Liquen; propiedades del suelo

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the influence of constituent species microbiotic crusts in some soil physicochemical properties. For this developed three phases: (a) field, to collect soil samples with and

without microbiotic crusts; (b) Laboratory, allowed the measurements of the variables studied in soil samples, discriminating those with microbiotic cons morphological groups; (c) interpretation of the results, using analysis of variance (ANOVA). The results reveal that the samples in the lichen dominated, have a tendency towards higher values alkalization of soils, while those with only bryophyte have towards neutral pH and significantly higher values of CO, CO₂ and MO. No evident variations associated with morphological groups that constitute the crust, in properties salinity, C.E and humidity

Key words: *bryophyte, lichen, microbiotic crust, soil properties*

INTRODUCCIÓN

Históricamente el tema de la calidad de los suelos en zonas áridas y semiáridas, se ha abordado en función de su potencialidad en lo referente a la productividad agrícola, lo que no resulta reprochable si se considera que éste, ha sido desde tiempos remotos, el medio por excelencia para la producción de los distintos rubros demandados para el consumo humano. En efecto, la mayoría de las investigaciones en el campo de la edafología en zonas áridas o semiáridas, están orientadas a por lo menos uno de los siguientes aspectos:

- (1) evaluar la factibilidad de cosechar diversos rubros en algunas condiciones particulares del suelo;
- (2) promover mecanismos que permitan mejorar las características edáficas de los suelos en una zona, para adaptarlos a las exigencias propias de uno o varios cultivo(s);
- (3) precisar los rasgos naturales en zonas degradadas, a fin de proponer procedimientos que favorezcan la cobertura vegetal y la estabilidad de la estructura de los suelos.

El propósito de la investigación, se inserta en el tercer aspecto de los antes expuestos; ya que se busca analizar la influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras microbióticas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica del suelo en una zona semiárida, toda vez en la actualidad, la actividad microbiana se encuentra

reconocida como un indicador integral de la calidad del suelo. (España, 2003; Zucchini, 2005; Mora, 2006).

El termino costra microbiótica hace referencia a un conjunto de microorganismos que viven asociados, conformando comunidades que pueden desarrollarse en las capas superficiales del suelo o bien sobre éste (Rivera, Manuell y Godínez, 2004) y sus aportes a las condiciones del suelo ha sido reportado por diversos investigadores.

En relación con lo anterior, solo por precisar un ejemplo de las bondades de los microorganismos que constituyen las costras microbióticas, es válido citar a Rivera, Manuell y Godínez (2004), señalan que existen evidencias que sugieren la influencia de microorganismos y en especial de las costras microbióticas en “la fertilidad y estabilidad de los suelos, y en la composición y abundancia de las especies que habitan en dichos ambientes”.

En este mismo orden de ideas, Crespo (2008), sostiene que el *Tricoderma spp* es un microorganismo capaz de revertir un proceso de degradación de suelos. Esta investigación demostró que la presencia del referido microorganismo en el suelo “promueve la fertilidad aumentando las moléculas de nitrógeno, fósforo y potasio; a la vez degrada los órganos clorados (donde se ha usado agroquímicos); controla patógenos o enfermedades en los suelos; incrementa los niveles de enraizamiento; y acelera los niveles de germinación.”

Ahora bien, desde la segunda mitad del siglo XX se ha venido dando un debate sobre el término apropiado para referirse a este agregado de microorganismo. En tal sentido, Williams (1994), señala que la expresión “costras microbióticas” empleado por Belnap es sinónimo a la corteza del suelo descrita como microfloras por Loope y Gifford, criptogámica de Kleiner y Harper, costra biológica por Danin, y como organogénica por Evenari, también ha sido referenciada como biocostras o biogénicas por Thomas y Tsoar, como microfítica por Cameron y biótica por McCune.

En general, la selección del termino más apropiado para referirse a este conjunto de agregados, suele depender de los componentes más elementales que constituyen la costra, así, también se admiten denominaciones como: costra algácea, costra de liquen, costra de alga y liquen, costra de cianobacteria y alga, costra de cianobacteria y líquen, costra de liquen-musgo, entre otras.

Sin embargo, otro factor a considerar para su clasificación, lo constituye las posibles causas de su diferencial distribución espacial característica, siendo que por lo general en las inmediaciones de estructuras verticales de mediano y gran tamaño (árboles o arbustos) predominan los musgos y en los espacios sin vegetación arbórea, los líquenes (que se presentan como manchas amarillas, marrones y rosáceas) y las cianobacterias (se muestran como una matriz negruzca), lo que propicia respectivamente un aumento de la escorrentía y de la infiltración en estos microambiente (Maestre, 2008).

De esta manera, su distribución tiende a no ser uniforme en el paisaje, ya que esta no solo depende de los requerimientos específicos de cada especie para su adaptación, crecimiento y evolución bajo ciertas condiciones ambientales, sino que además los microorganismos que suelen constituir estos tapetes biológicos, son extremadamente vulnerables al disturbio, generado entre otros elementos intervinientes por el fuego y el pisoteo. De allí que se pueden encontrar diferentes composiciones en una misma área, influenciado quizás por la historia de incendios locales o el uso del espacio como senderos o veredas (Hawkes, 2003).

En el caso particular de la zona objeto de esta investigación, Toledo (2006), reportó la presencia de las costra microbíticas en Quibor, señalando que están compuesta por organismos fotosintéticos con un espesor sobre el suelo no mayor de tres milímetros y cuyos rizoides (briofitas) y rizinas (líquenes) no se extienden a más de 5 cm del perfil del suelo.

De allí que, en atención a las premisas antes referidas, se plantea como

hipótesis para esta investigación que los especímenes que constituyen la costra microbiótica pueden influir de manera diferencial en la modificación de algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de un suelo en condiciones semiáridas.

MÉTODO

Investigación con enfoque metodológico de campo descrito por la Universidad Pedagógica Experimental Liberador (UPEL-2008). Por su propósito, se considera de carácter *descriptivo* y de tipo *no experimental*: descriptivo, ya que busca especificar las propiedades resaltantes del fenómeno que es sometido al análisis investigativo (Hernández, *et al*, 2004); así mismo se considera no experimental, ya que aún cuando el análisis se sustenta fundamentalmente en protocolos para el análisis de laboratorio, sólo se limita a observar el comportamiento del fenómeno, para comprender sus características y poder describirlo, sin intervenir en las mismas, sin alterar o manipular las condiciones naturales (Grajales, 2000).

En cuanto a la recolección de las muestras de suelo, estas tienen como base el trabajo de campo realizado en Octubre de 2010 al sector sur de la quebrada Los Barrancos, en la depresión de Quibor, Estado Lara.

Para el muestreo, se seleccionó el período justo antes del inicio de las lluvias, con el fin de asegurar que los microorganismos que componen la costra vienen de tolerar una fase de desecación típica, asociada al período precedente de sequía. En efecto, realizar el muestreo, durante el período lluvioso, resulta irrelevante para este tipo de estudio por tratarse de organismos poiquilohídricos¹.

El área de muestreo, se seleccionó de manera no probabilística, bajo un enfoque intencional: una zona con intervención antrópica reducida y en donde crece la costra microbiótica de manera natural. Sobre este terreno,

¹ Plantas con células pequeñas sin vacuolas centrales (membrana de almacenamiento de agua y desechos metabólicos). El contenido del agua depende de la humedad de los alrededores, modificando ésta su contenido de agua en el protoplasma

se trazaron 2 transectas o transeptos, atendiendo al criterio de exposición: En el primer caso se trazó una transecta de 90 metros, en un área expuesta a la radiación solar y sin estructuras vegetales arbóreas o arbustivas que pudieran generar sombras; para la segunda transecta se escogió un área con menor exposición a la radiación solar, por encontrarse resguardada a la sombra de formas vegetales arbustivas, por lo que fue necesario reducir la extensión de la transecta a 20 metros.

Por su parte, la recolección de las muestras de suelo se realizó bajo un enfoque probabilístico de tipo sistemático: Para ambas transectas, cada 10 m se colocó una cuadrata cuadradas de 25 x 25 cm y a través de la tabla de dígitos aleatorios se tomaron 2 muestras de suelo por cada punto de cuadrata totalizando entre las dos transectas 26 muestras de suelo de 5 x 5 x 5 cm. Esto permitió recolectar de manera probalísticas muestras de suelo con y sin costras microbióticas, las cuales fueron depositadas en bolsas herméticas y preservadas a una temperatura de 4°C. Por otro lado, se procedió a levantar un registro de todos los especímenes presentes dentro de la cuadrata identificados por grupos morfológicos como sugieren Rosentreter, *et al* (2001).

Posterior al trabajo en campo, se desarrolló la fase de laboratorio, con el objeto de determinar las posibles variaciones introducidas en algunas propiedades del suelo a partir de la presencia de algunos organismos constitutivos de las costras microbiótica. Las determinaciones de laboratorio analizadas fueron:

1. *Propiedad física*: se determinó el porcentaje de humedad higroscópica bajo el método gravimétrico referido por Pla (1983), Narro (1994), Rivera, *et al* (2006) y Toledo (2009).
2. *Propiedades químicas*: (a) pH del suelo, a partir del método del potenciómetro, siguiendo el protocolo reseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 1999), los valores resultantes se clasificaron a partir de la escala cualitativa de Scheffer-Schachtschabel (citado por Köster y Leser, 1976); (b) Conductividad Eléctrica (CE) y Salinidad, ambos

análisis bajo el método del Conductímetro, siguiendo el protocolo descrito por USDA (ob. cit); (c) Carbono Orgánico del Suelo (COS), determinado de acuerdo con el método de Wlakley y Black descrito por Arriche y Pacheco (s.f.) y Toledo (2008).

3. *Propiedades bioquímicas*: (a) Contenido de Materia Orgánica (MO), por el factor convencional de Vammelen, referido por Navarro (2007) y Toledo (2008), el resultado fue cotejado con la escala cualitativa propuesta por PALMAVEN (1992), (b) Contenido de dióxido de carbono (CO₂) desprendido, determinado mediante el método de respiración basal del suelo reportado por Anderson (1982).

Finalmente, para determinar el efecto de la fuente de variación (la presencia de algunos organismos en la costra microbiótica) sobre el resto de las variables a medir, se realizó un análisis estadístico mediante una correlación múltiple, a partir del programa estadístico SPSS versión 20.0. En efecto, los datos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar el efecto interactivo entre las variables físicas, químicas y bioquímicas consideradas como parte de la investigación.

RESULTADOS

Composición de las costras microbiótica

El registro de la composición de las costras microbiótica en el sector Sur de la quebrada los Barrancos en el Valle de Quibor, permite establecer diferencias en su composición, según la condición de exposición a la radiación solar.

En las muestras de suelo con costra recolectadas en el área de mayor exposición a la radiación solar (solana) se pudo observar que en el 100% de estos están constituidos por liquen, mientras que en las superficies del suelo que se encuentran bajo la sombra de alguna especie arbórea o arbustiva (umbría), si bien se encuentran los líquenes (en promedio en el 42,67% de las superficie), en algunos sectores son remplazadas por

briofitas (18,67% de la superficie) o mezclada con esta (38,67% de la superficie).

Las especies constitutivas de las costras microbiótica y su relación con algunas propiedades del suelo

La humedad del suelo

En general el contenido de humedad registrado para el suelo del sector sur de la quebrada Los Barrancos en el Valle de Quibor, presenta valores que oscilan entre 0.3% hasta 1.96%, para una media general de 0.96%.

Al comparar los valores de media de porcentaje de humedad en los suelos con costra (0.91%) en comparación con las muestras de suelo sin costra (1.12%), lo que permite afirmar que ambos grupos muestrales mantienen la misma tendencia hacia la baja humedad. No obstante, la existencia de los microorganismos que constituyen la costra microbiótica en condiciones de escasa humedad edáfica, se debe a sus propias estructuras y a los mecanismos desarrollados para adaptarse a circunstancias ambientales extremas.

En el caso de las costras constituidas por liquen, estos por ser una planta poiquilohídrica su estado de hidratación tiende a variar de acuerdo con las variaciones de humedad atmosférica, de allí que puedan tolerar varios niveles de desecación de su estructura sin morir, mientras que absorben agua por capilaridad a través de su superficie externa (Mazparrote y Delascio, 1998).

En tal sentido, Lindorf, *et al* (2006), proponen un mecanismo desarrollado por el liquen para la sustitución de agua ante su limitada disponibilidad en el suelo, el cual supone que la cantidad de productos que sintetiza el alga es mucho mayor a la que requiere el hongo, este exceso permitiría una alta concentración de carbohidratos solubles en el hongo, que pueden incrementar la presión osmótica interna y suministrar

grupos de hidróxilos que reemplazarían moléculas de agua perdida por desecación.

Por su parte las briofitas son fotosintetizadoras y por lo tanto autótrofas, además también son poiquilohídricas, absorben la humedad atmosférica a través las hojas, y la humedad del suelo gracias a los rizoides con su estructuras absorbentes delgadas y cortas (Mazparrote y Delascio, ob. cit.; Lindorf, *et al*, 2006).

pH del suelo

En general, los suelos objeto de estudio, son ligeramente alcalinos (pH ~ 7.74), generados a partir del transporte y acumulación de sedimentos cretácicos, cuyo origen geológico se encuentra en las cuencas marino someras que cubrieron buena parte de la fachada norte de Venezuela y que son las responsables de la formación de las rocas carbonatadas que constituyen mayoritariamente los cerros que flanquean la depresión (Cuadro 1).

Otro factor que determina la alcalinidad de los suelos está vinculado con la semiaridez de su clima, cuyas lluvias posiblemente no sean suficiente para lixiviar los cationes del suelo (Mg^{+2} , Ca^{+2} , Na^{+} y K^{+}).

Al comparar los valores de pH del suelo, de acuerdo con los espécimenes que dominan en la muestra, se tiene que en general aquellas que presentan liquen registran un valor medio de 7.86, las muestras con costras mixtas (liquen + briofita) de 7.58 y las muestras con briofitas de 7.46.

El coeficiente de correlación para las medias ($r = 0.97$) revela una muy alta magnitud entre las variables, que supone que en la medida en que la costra esta dominada por liquen el suelo tiende a valores más alcalinos, mientras que la dominancia de la briofita, si bien mantiene valores típicos de pH básicos, estos suelen ser ligeramente menores que los reportados para el liquen.

Cuadro 1. Valores de pH para las muestras de suelo con costra (por espécimen) y sin costra microbiótica

TRANSECTA	CUADRATA	MUESTRA	COBERTURA	ESPECIMEN	pH
1	1	1	C	LIQUEN	7.82
		2	C	LIQUEN	7.86
	2	3	C	LIQUEN	7.91
		4	C	LIQUEN	8.15
	3	5	SC	****	7.46
		6	SC	****	7.49
	4	7	C	LIQUEN	7.56
		8	C	LIQUEN	7.56
	5	9	C	LIQUEN	7.95
		10	C	LIQUEN	7.89
	6	11	C	LIQUEN	8.01
		12	C	LIQUEN	8.1
	7	13	C	LIQUEN	7.88
		14	C	LIQUEN	7.74
	8	15	SC	*****	7.62
		16	SC	*****	7.79
	9	17	SC	*****	7.64
		18	SC	*****	7.6
	10	19	C	LIQUEN	8.02
		20	C	LIQUEN	7.77
2	1	1	C	LIQUEN	7.75
		2	C	LIQUEN	7.73
	2	3	C	MIXTA	7.58
		4	C	MIXTA	7.58
	3	5	C	BRIOFITA	7.38
		6	C	BRIOFITA	7.53
pH promedio para muestras con costra microbiótica					7.79
pH promedio para muestras sin costra microbiótica					7.60
pH promedio para muestras costra constituidas por liquen					7.86
pH promedio para muestras costra con liquen y briofita (mixta)					7.58
pH promedio para muestras costra constituida por briofita					7.46

Nota: C= costra; SC = Sin Costra.

Lo anterior está influenciado por la actividad metabólica de cada grupo morfológico, en efecto, tal como se mencionó en el apartado de la humedad, el hongo que constituye el liquen por lo general mantiene una alta concentración de carbohidratos solubles, que de ser del tipo de los polioles², suministran grupos hidróxilos que contribuyen con la alcalinización del suelo, amortiguando el pH (Davey y Marchant, 1993).

En cuanto a la briofita, como se evidenciará en los apartados referidos a CO y MO, el aporte de estos elementos al suelo en estas especies es ligeramente mayor que en otro tipo de costra constituida solo por liquen. De allí que los iones de Hidrógeno (H^+) liberados en el proceso de mineralización de la materia orgánica pueden reaccionar con las estructuras cristalinas de la arcilla, liberando ácido silícico y aluminio a la solución del suelo, este último al pasar a los sitios de intercambio de las arcillas, genera un procesos de hidrólisis con producción de H^+ (Casanova, 2005) lo que incide en la reducción de las bases en el suelo.

En este proceso, la briofita con su aporte indirecto de iones de hidrógeno al suelo, contribuye a llevar los suelos alcalinos a neutros, lo cual resulta fundamental para garantizar la factibilidad de absorción de nutrientes indispensables para la mayoría de las plantas.

Conductividad Eléctrica (CE) y Salinidad

El área bajo estudio, presenta una conductividad eléctrica (CE) promedio de 0.3935 ds/m o lo que corresponde a una salinidad de 0.20 ‰, por lo que los suelos clasifican como no salinos. Esto coincide con lo reportado por Villafañe, *et. al.*(1999), quienes evaluaron la distribución espacial de los niveles de salinidad en los primeros 40 cm del suelo en Quibor, y concluyeron que la zona suroeste y en especial la zona sur de la quebrada Los Barrancos, se encuentra en el rango de 0 a 2 ds/m, con suelos de no salinos a ligeramente salinos.

2 Alcoholes con varios grupos hidróxilo. Se trata de un carbohidrato que contiene más grupos hidroxilo que el azúcar al cual está asociado

Al analizar los valores promedios de CE por grupos morfológicos presentados en el cuadro 2, se observa que en las muestras que presentan liquen el valor tiende a ser ligeramente menor (0,3105 ds/m) incluso que la media para las muestras con costra sin diferenciar los especímenes y reducido a casi la mitad del registrado para las muestras sin costra, lo cual advierte las bondades de esta especie vegetal en materia de control y reducción de salinidad en el suelo.

En el caso de las muestras cuya costra es mixta (liquen + briofita) o domina la briofita, los valores de CE, se encuentran ligeramente por debajo del promedio registrado para las muestras sin costra (0,4905 ds/m y 0,4695 ds/m respectivamente), lo que permitiría inferir que las briofitas son menos efectivas que los líquenes en el control de la salinidad. No obstante, esta ligera diferencia, no permite establecer diferencias significativas entre los grupos constitutivos de las costras microbióticas.

Carbono Orgánico en el Suelo (CO)

Al analizar los aportes de CO al suelo, por los grupos morfológicos que constituyen las costras, de acuerdo a los valores reportados en el cuadro 3, se observa que las briofitas presentan el valor promedio más elevado (0.79% CO) seguida por las costras mixtas (0.59% CO) y finalmente el liquen (0.27% CO).

La efectividad de las briofitas, como plantas no vasculares, para la captura del CO y posterior aporte al suelo, ha sido reportada en múltiples investigaciones que advierten de su capacidad de tomar elementos minerales y aportar restos orgánicos, exudados, entre otros, con lo cual se contribuye a la acumulación de CO en el suelo.

Es posible que la eficiencia en la captura de CO por parte de las briofitas, contribuya a explicar su tendencia a la neutralización del pH en el suelo, ya que como lo plantean Martínez *et. al.* (2008), el aumento del CO en el suelo, modifica la acidez y la alcalinidad hacia valores próximos a la neutralidad.

Cuadro 2. Valores de Conductividad Eléctrica (CE) y salinidad para las muestras de suelo con costra y sin costras microbióticas.

TRANSECTA	CUADRATA	MUESTRA	ESPECIMEN	C.E. (dS/m a 25°C)	SALINIDAD ‰
1	1	1	LIQUEN	0,1796	0,10
		2	LIQUEN	0,1971	0,10
	2	3	LIQUEN	0,1598	0,10
		4	LIQUEN	0,1326	0,10
	3	5	****	1,2100	0,60
		6	****	1,2930	0,60
	4	7	LIQUEN	1,2350	0,60
		8	LIQUEN	1,2650	0,60
	5	9	LIQUEN	0,0382	0,00
		10	LIQUEN	0,0108	0,00
	6	11	LIQUEN	0,1422	0,10
		12	LIQUEN	0,0417	0,00
	7	13	LIQUEN	0,2790	0,10
		14	LIQUEN	0,2340	0,10
	8	15	*****	0,2480	0,10
		16	*****	0,2000	0,10
	9	17	*****	0,3690	0,20
		18	*****	0,0245	0,10
	10	19	LIQUEN	0,1615	0,10
		20	LIQUEN	0,2240	0,10
2	1	21	LIQUEN	0,4340	0,20
		22	LIQUEN	0,2330	0,10
	2	23	MIXTA	0,8630	0,40
		24	MIXTA	0,1180	0,10
	3	25	BRIOFITA	0,5500	0,30
		26	BRIOFITA	0,3890	0,20
PROMEDIO GENERAL	*	*	*	0,3935	0,20
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA	*	*	*	0,3444	0,17
PROMEDIO MUESTRAS SIN COSTRA	*	*	*	0,5574	0,28
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA DE LIQUEN	*	*	*	0,3105	0,15
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA DE BRIOFITA	*	*	*	0,4695	0,25
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA MIXTA	*	*	*	0,4905	0,25

Cuadro 3. Contenido de CO en el suelo con costra (por espécimen) y sin costras microbióticas

TRANSECTA	CUADRATA	MUESTRA	COBERTURA	ESPECIMEN	%COS
1	1	1	con costra	Liquen	0.41
		2	con costra	Liquen	0.26
	2	3	con costra	Liquen	0.26
		4	con costra	Liquen	0.30
	3	5	sin costra	sc	0.13
		6	sin costra	sc	0.12
	4	7	con costra	Liquen	0.10
		8	con costra	Liquen	0.10
	5	9	con costra	Liquen	0.21
		10	con costra	Liquen	0.76
	6	11	con costra	Liquen	0.23
		12	con costra	Liquen	0.16
	7	13	con costra	Liquen	0.35
		14	con costra	Liquen	0.27
	8	15	sin costra	sc	0.05
		16	sin costra	sc	0.20
	9	17	sin costra	sc	0.11
		18	sin costra	sc	0.22
	10	19	con costra	Liquen	0.20
		20	con costra	Liquen	0.44
2	1	21	con costra	Liquen	0.21
		22	con costra	Liquen	0.14
	2	23	con costra	Mixta	0.65
		24	con costra	Mixta	0.54
	3	25	con costra	Briofita	0.75
		26	con costra	Briofita	0.83
PROMEDIO GENERAL	*	*	*	*	0.31
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA	*	*	*	*	0.36
PROMEDIO MUESTRAS SIN COSTRA	*	*	*	*	0.14
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA DE LIQUEN	*	*	*	*	0.27
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA DE BRIOFITA	*	*	*	*	0.79
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA MIXTA	*	*	*	*	0.59

La relación anterior supone que comparando el contenido promedio de CO en muestras con y sin costras, existe un incremento de poco mas del 150% en aporte de CO por parte de las muestras con costras.

La captura de CO por ambos espécimen que constituyen la costra microbiótica en Quibor, resulta de gran importancia en las condiciones semiáridas de la zona, ya que aporta nutrientes como el nitrógeno (N), que normalmente es deficitario según los requerimientos de la vegetación y cultivos. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - ONU/FAO, 2002).

Materia Orgánica en el Suelo (MO)

El análisis del contenido de MO en muestras con costras diferenciado por grupos morfológico y cuyos datos se reportan en el cuadro 4, revela que al igual que lo reportado para el CO, las muestras de suelo con briofita presentan los niveles más altos del grupo, alcanzando en promedio 1.36% lo que la clasifica con un contenido mediano de MO; la tendencia disminuye de las muestras mixtas (1.02 % MO - bajo) a las muestras constituidas exclusivamente por liquen (0.47 – bajo).

Lo anterior permite suponer que las briofitas, son más efectivas en el aporte de MO al suelo, lo que resulta de gran importancia, si se considera que en las regiones áridas y semiáridas, la contribución de materia orgánica al suelo siempre será reducida, por lo que cualquier incorporación adicional por mínima que parezca, resulta fundamental para mejorar la calidad del suelo.

Dióxido de Carbono (CO₂) desprendido

El análisis por grupos morfológicos evidenciado en el cuadro 5, revela que las muestras con costra de composición mixta registran una respiración basal promedio de 12.20 mgC-CO₂g⁻¹h⁻¹, las costras con briofita 9.51 mgC-CO₂g⁻¹h⁻¹ y las constituidas por liquen 4.83 mgC-CO₂g⁻¹h⁻¹.

Cuadro 4. Contenido de MO en el suelo con costra (por espécimen) y sin costras microbióticas

TRANSECTA	CUA- DRATA	MUES- TRA	COBER- TURA	ESPECIMEN	% MOS	Clasificación
1	1	1	con costra	Liquen	0.70	Bajo
		2	con costra	Liquen	0.45	Bajo
	2	3	con costra	Liquen	0.45	Bajo
		4	con costra	Liquen	0.52	Bajo
	3	5	sin costra	Sin costra	0.23	Muy Bajo
		6	sin costra	Sin costra	0.20	Muy Bajo
	4	7	con costra	Liquen	0.17	Muy Bajo
		8	con costra	Liquen	0.17	Muy Bajo
	5	9	con costra	Liquen	0.36	Bajo
		10	con costra	Liquen	1.31	Mediano
	6	11	con costra	Liquen	0.39	Bajo
		12	con costra	Liquen	0.27	Muy Bajo
	7	13	con costra	Liquen	0.60	Bajo
		14	con costra	Liquen	0.46	Bajo
	8	15	sin costra	Sin costra	0.08	Muy Bajo
		16	sin costra	Sin costra	0.35	Bajo
	9	17	sin costra	Sin costra	0.19	Muy Bajo
		18	sin costra	Sin costra	0.38	Bajo
	10	19	con costra	Liquen	0.34	Bajo
		20	con costra	Liquen	0.76	Bajo
2	1	21	con costra	Liquen	0.36	Bajo
		22	con costra	Liquen	0.25	Muy Bajo
	2	23	con costra	Mixta	1.12	Mediano
		24	con costra	Mixta	0.93	Bajo
	3	25	con costra	Briofita	1.30	Mediano
		26	con costra	Briofita	1.43	Mediano
PROMEDIO	GENERAL				0.53	Bajo
PROMEDIO	MUESTRAS CON COSTRA				0.62	Bajo
PROMEDIO	MUESTRAS SIN COSTRA				0.24	Muy Bajo
PROMEDIO	MUESTRAS CON COSTRA DE LIQUEN				0.47	Bajo
PROMEDIO	MUESTRAS CON COSTRA DE BRIOFITA				1.36	Mediano

Cuadro 5. CO₂ Liberado de en el suelo con costra (por espécimen) y sin costras microbióticas

TRANSECTA	CUA- DRATA	MUES- TRA	COBERTURA	ESPECIMEN	RESPIRACIÓN (mg C-CO ₂ g ⁻¹ d ⁻¹)
1	1	1	con costra	Liquen	6.18
		2	con costra	Liquen	8.43
	2	3	con costra	Liquen	2.68
		4	con costra	Liquen	3.98
	3	5	sin costra	***	3.13
		6	sin costra	***	4.03
	4	7	con costra	Liquen	4.47
		8	con costra	Liquen	6.25
	5	9	con costra	Liquen	4.89
		10	con costra	Liquen	6.22
	6	11	con costra	Liquen	4.02
		12	con costra	Liquen	4.43
	7	13	con costra	Liquen	4.42
		14	con costra	Liquen	5.73
	8	15	sin costra	***	3.12
		16	sin costra	***	2.65
	9	17	sin costra	***	2.67
		18	sin costra	***	3.98
	10	19	con costra	Liquen	3.58
		20	con costra	Liquen	5.31
2	1	21	con costra	Liquen	3.59
		22	con costra	Liquen	3.09
	2	23	con costra	Mixta	12.44
		24	con costra	Mixta	11.96
	3	25	con costra	Briofita	10.64
		26	con costra	Briofita	8.38
PROMEDIO GENERAL	*	*	*	*	5.40
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA	*	*	*	*	6.03
PROMEDIO MUESTRAS SIN COSTRA	*	*	*	*	3.26
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA DE LIQUEN	*	*	*	*	4.83
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA DE BRIOFITA	*	*	*	*	9.51
PROMEDIO MUESTRAS CON COSTRA MIXTA	*	*	*	*	12.20

Posiblemente los valores registrados, guardan íntima relación con exposición del suelo superficial, ya que las briofitas como se ha venido explicando por desarrollarse en el área de estudio, resguardada bajo la sombra de elementos arbóreos, presentan mejores condiciones para el desarrollo de su actividad metabólica, mientras que el liquen expuesto a mayor radiación y temperaturas más elevadas disminuyen su respiración al entrar en estado de latencia, gracias a su capacidad de permanecer metabolitamente inactivo durante largos periodos de tiempo, en los cuales pueden soportar condiciones extremas (temperaturas extremas, deshidratación total e intensa irradiación solar).

En efecto la respiración basal, comúnmente es empleada como un indicador de la actividad microbiana responsable o bien de la generación de materia orgánica o de los agentes involucrados en su descomposición y posterior incorporación al compost natural de nutrientes del suelo.

De acuerdo con el proyecto MECESUP de la Universidad de Chile (s/f), la respiración microbiana se define como la absorción de oxígeno o la liberación de dióxido de carbono por bacterias, hongos, algas y protozoos y es el resultado de la degradación de la materia orgánica, ya que la formación de CO_2 es el último paso de la mineralización del carbono.

En el gráfico 1, se evidencia como las muestras con liquen que tienden a valores menores de CO_2 liberado, coinciden en ser las que presentan menor MOS, a diferencia de las muestras que presentan briofitas, que tienden a valores mayores de respiración basal y a mayor contenido de MOS.

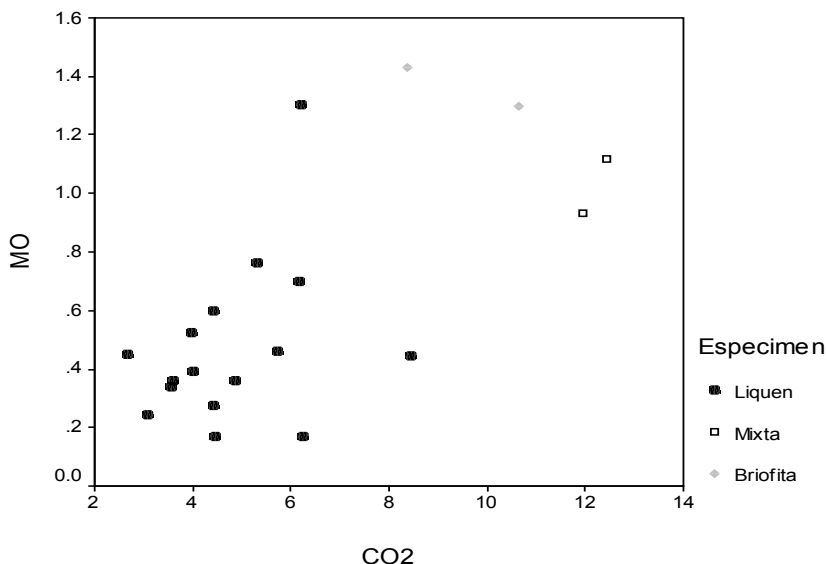


Gráfico 1. Correlación entre las variable MO y CO₂ en muestras con costra por grupos morfológicos

Análisis de la variación de las propiedades edáficas del suelo a partir de la presencia de determinados especímenes en la costra microbiótica.

El estadístico ANOVA de un factor, permitió verificar las diferencias significativas introducidas por los especímenes en los subindicadores COS, CO₂, MO y pH, todas con valores de significancia < 0.05, por lo cual se confirma la hipótesis de la variación de de las propiedades del suelo por la influencia de algunos especímenes constitutivos de las costras microbióticas (Cuadro 6). Por su parte, el valor de ANOVA obtenido para los subindicadores CE, Humedad y Salinidad, no muestra variaciones por grupo morfológico, por lo cual se descarta la hipótesis planteada en esta investigación.

La comparación *Post hoc* o a posteriori empleada para saber cuáles son las medias de los especímenes que más difieren (significancia < 0.05),

mediante la herramienta Scheffe³, reveló que para las variables COS, CO₂ y MO la variación de medias es entre las especies Briofita y Liquen; Mixta y Liquen; en cuanto al pH la variación es entre las especies Briofita y Liquen (Cuadro 7).

Cuadro 6. ANOVA de un Factor

Variables	Significancia Inter-grupos
Conductividad Eléctrica	0,731
Carbono Orgánico	0,000
Dióxido de Carbono (desprendido)	0,000
% de Humedad higroscópica	0,520
Materia Orgánica	0,000
pH	0,005
Salinidad	0,618

Cuadro 7. Pruebas Post hoc: comparaciones múltiples (Scheffe)

Variable dependiente	Espécimen (I)	Espécimen (J)	Significancia
Conductividad Eléctrica	Briofita	Mixta	0,998
		Liquen	0,857
	Mixta	Briofita	0,998
		Liquen	0,822
	Liquen	Briofita	0,857
		Mixta	0,822
Carbono Orgánico	Briofita	Mixta	0,462
		Liquen (*)	0,001
	Mixta	Briofita	0,462
		Liquen (*)	0,042
	Liquen	Briofita(*)	0,001
		Mixta (*)	0,042

³ Basado en la distribución de F , permite controlar la tasa de error para el conjunto total de comparaciones que son posible señalar con J media.

Cuadro 7. (Continuación) Pruebas Post hoc: comparaciones múltiples (Scheffe)

Variable dependiente	Espécimen (I)	Espécimen (J)	Significancia
Materia Orgánica	Briofita	Mixta	0,462
		Liquen (*)	0,001
	Mixta	Briofita	0,462
		Liquen (*)	0,042
	Liquen	Briofita (*)	0,001
		Mixta (*)	0,042
pH	Briofita	Mixta	0,746
		Liquen (*)	0,015
	Mixta	Briofita	0,746
		Liquen	0,105
	Liquen	Briofita(*)	0,015
		Mixta	0,105
Salinidad	Briofita	Mixta	1,000
		Liquen (*)	0,763
	Mixta	Briofita	1,000
		Liquen (*)	0,763
	Liquen	Briofita(*)	0,763
		Mixta (*)	0,763
Dióxido de Carbono (desprendido)	Briofita	Mixta	0,202
		Liquen (*)	0,002
	Mixta	Briofita	0,202
		Liquen (*)	0,000
	Liquen	Briofita(*)	0,002
		Mixta (*)	0,000
% Humedad higroscópica	Briofita	Mixta	0,825
		Liquen	0,529
	Mixta	Briofita	0,825
		Liquen	0,951
	Liquen	Briofita	0,529
		Mixta	0,951

CONCLUSIONES

Los resultados permiten establecer que:

- Se registran diferencias significativas en los aportes por espécimen que la costra microbiótica propician en las condiciones del suelo, en efecto, el liquen contribuye a la alcalinización del suelo (suelos sin

costra presentan un pH promedio de 7.6 mientras que los suelos con costra de liquen alcanzan promedios de pH de 7.86), por su parte la briofita aproxima el pH a valores neutros (pH promedio 7.46).

- Se reconoce que la briofita es más efectiva en el aporte de CO al suelo, en suelos sin costra, el registro como ya se indico es de 0.14%, las costras con briofita registran en promedio 0.79%, las costras con liquen 0.27% y las mixtas 0.59%; para el contenido de MO se mantiene la misma tendencia: (1) Briofita con 1.36% o mediano contenido, (2) mixta con 1.02% o bajo contenido y (3) liquen con 0.47% con bajo contenido vs suelos sin costra con 0.24% o muy bajo contenido.
- En cuanto al carbono mineralizado los microorganismos de los suelos sin costra (no identificados) registran una actividad mínima respiratoria de $3.26 \text{ mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$ en comparación con los que interactúan en suelos con presencia de costra, de estos los líquenes resultan más efectivos ya que al disminuir su metabolismo para sobrevivir a las condiciones de altas temperatura y evaporación y baja precipitación y humedad, registran una actividad respiratoria promedio de $4.83 \text{ mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$, mientras que las briofitas prácticamente duplican la actividad al alcanzar registros promedios de $9.51 \text{ mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{d}^{-1}$, las muestras mixtas revelan la suma de la actividad de ambos microorganismos.
- Con esta investigación, no se logró identificar variaciones significativas a partir de la composición de la costra, en las propiedades humedad, conductividad eléctrica y salinidad. No obstante, es posible que estas dos últimas propiedades no se vean alteradas por la presencia de determinadas especies de costra en suelos alcalinos.

REFERENCIAS

- 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.). Agron. Monogr.9. (pp. 837-871). Madison: ASA and SSSA
- Arrieche, I. y Pacheco, Y. (s.f.). Determinación de Carbono Orgánico en muestras de suelos mediante dos procedimientos analíticos. *Revista*

- VeneSuelo. 6 (1 y 2) [Revista en línea] Disponible: http://avepagro.org.ve/venesuel/v06_1-2/v612a020.html [Consulta: 2010, Noviembre 22]
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas: UCV
- Crespo, M. (2008). Un microorganismo puede revertir la desertificación de los suelos [Documento en línea]. Disponible: <http://www.pieb.com.bo/nota.php?idn=2924> [Consulta: 2010, Agosto 08]
- Davey, A. Y Marchant, H. (1983). Seasonal variation in nitrogen fixation by *Nostoc commune* Vaucher at the vestfol Hills, Antarctica. *Phycologia* 22, 377 – 385
- España, M. (2003). *Evaluación de la Calidad del suelo a través de indicadores bioquímicos* [Artículo en línea]. Disponible: <http://www.ceniap.gov.ve/seminarios/mespana.htm> [Consulta: 2010, Agosto 8]
- Grajales, T. (2000). *Tipos de Investigación*. [Documento en línea] Disponible: <http://www.tgrajales.net/investipos.pdf> [Consulta: 2010, Junio ,13]
- Hawkes, C. (2003). Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente* [Revista en línea]. Disponible: <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/209.pdf>. [Consulta: 2010, Junio 12]
- Hernández, R. Fernández, C. Y Baptista, P. (2004). *Metodología de la Investigación*. Chile: McGraw – Hill
- Köster, E. Y Leser, H. (1976). *Trabajos Prácticos de Geomorfología*. Valencia, España.
- Lindorf, H. Parisca, L. Y Rodríguez, P. (2006). *Botánica, Clasificación, Estructura y Reproducción*. Caracas: Universidad central de Venezuela
- Maestre, F. (2008). Espartales Ibéricos. *Investigación y Ciencia*, 74-83 [Revista en línea]. Disponible: <http://www.escet.urjc.es/biodiversos/espapersonal/fernando/papers/lyC2008.pdf> [Consulta: 2010, Agosto 24]
- Martínez, E., Fuente, J. Y Acevedo, E. (2008). Carbono Orgánico y propiedades del suelo. *Revista de Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8 (1) 68-96. [Revista en línea]. Disponible: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci_arttext [Consulta: 2010, Febrero 08]

- Mazparrote, S. Y Delascio, F. (1998). *Botánica*. Caracas- Venezuela: Editorial Biosfera.
- Mora, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. *Revista Luna Azul* [Revista en línea]. Disponible: http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/9cc8db94Revista5_6_9.pdf [Consulta: 2010, Agosto 9]
- Narro, E. (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. México: Trillas
- Navarro, J. (2007). *Variación del Contenido de Materia Orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas*. Tesis de Grado no publicada. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía. Disponible: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fan936v/doc/fan936v.pdf> [Consulta: 2010, Diciembre 11]
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (2002). *Captura de Carbono en los Suelos para un mejor manejo de la tierra*. [Documento en línea] Disponible: <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y2779S/Y2779S00.HTM> [Consulta: 2010, Diciembre 21]
- PALMAVEN (1992), *Análisis de suelo y su interpretación, Serie Técnica*, publicaciones de divulgación científica, Caracas: Autor
- Pla, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Alcance* 32, 5-89
- Rivera, L., Goyal, M. Y Crespo, M. (2006). *Métodos para medir la humedad en el suelo* [Presentación en línea]. Disponible: http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap02humedadppt.pdf [Consulta: 2010, Junio 12].
- Rivera, V., Manuell, I. Y Godínez, H. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias* [Revista en línea]. Disponible: http://www.ejournal.unam.mx/cns/no75/CNS075_08.pdf [Consulta: 2010, Junio 12]
- Rosentreter R., Eldridge D. y Kaltenecker J. (2001). Monitoring and management of biological soil crust. In J. Belnap y O.L. Lange (ed.), *Ecological Studies: Vol. 150. Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management* (pp.457-468). New York: Springer-Verlag

- Toledo, V. (2006). *Caracterización de las costras microbiótica y su influencia biológica y física en suelos de la región árida de Quíbor, Estado Lara*. Tesis Doctoral no publicada. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Postgrado en Ciencias del Suelo. Maracay. Estado Aragua
- Toledo, V. (2008). *Determinación de Carbono Orgánico en muestras de Suelos por la técnica colorimétrica, en el método de combustión húmeda de Walkley – Black*. Trabajo no Publicado. Línea de Investigación Ambientes Áridos y Semiáridos en Venezuela, UPEL – IPC
- Toledo, V. (2009). *Medición de la Humedad del Suelo*. Trabajo no publicado, Curso Manejo de Instrumento de Laboratorio y Métodos de Cuantificación, Maestría e Geografía Física, UPEL – IPC
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2008). *Manual de Trabajo de grado de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales*. Caracas: Autor
- Universidad de Chile (s. f.). Proyecto MECESUP, Modernización e Integración transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra. [Documento en Línea]. Disponible: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf [Consulta: 2010, Febrero 13]
- USDA (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo* [Libro en Línea]. Disponible: <http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/KitSpanish.pdf> [Consulta: 2010, Agosto 20]
- Villafañe, R., Abarca, R., Azpúrua, M., Ruíz, T. Y Dugarte, J. (1999). Distribución espacial de la salinidad en los suelos de Quíbor y su relación con las limitaciones de drenaje y calidad del agua. En: Bioagro 11 (2): 43-99. [Revista en línea] Disponible: [http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/REV11\(2\)/1.%20Distribuci%F3n %20espacial.pdf](http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/REV11(2)/1.%20Distribuci%F3n%20espacial.pdf). [Consulta: 2010, Junio 20]
- Williams, J. (1994). *Microbiotic crusts: A review* [Documento en línea] Disponible: <http://www.icbemp.gov/science/williams.pdf> [Consulta: 2010, Junio 20]
- Zucchini, H. (2005). *Nuevas Tendencias para conocer el estado de los suelos*. [Artículo en línea] Disponible: http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=745551 [Consulta: 2010, Agosto 8]