

Efectos de la costra microbiótica en algunas propiedades del suelo en el sur de la quebrada Los Barrancos, Valle de Quíbor, Venezuela

Recibido: 12 de octubre de 2012. Aceptado en versión final: 21 de octubre de 2013.

Franklin Núñez Ravelo*

Resumen. En el suelo de Quíbor crecen de manera discontinua unas costras constituidas por líquenes, briofitas y cianobacterias. El propósito de esta investigación es identificar variaciones en el comportamiento de algunas propiedades edáficas al comparar muestras del suelo con y sin costra. Se trata de una investigación de campo desarrollada en tres fases: *la primera, denominada de Campo*, con el fin de recolectar muestras de suelo con apoyo en la tabla de dígitos aleatorios y a partir de dos transectas longitudinales, sobre éstas se empleó cada diez metros una cuadrata cuadrada de 25 x 25 cm; *la segunda fase, laboratorio*, en la cual se determinaron las propiedades del suelo: *a)* física como el %humedad; *b)* químicas como la salinidad, pH, Conductividad Eléctrica

(C.E) y Carbono Orgánico (CO), y *c)* bioquímicas, entre ellas la Materia Orgánica (MO) y Dióxido de carbono (CO₂) desprendido; *la tercera fase, de análisis estadístico*, se empleó la prueba *t*, a fin de identificar variaciones significativas entre ambos grupos muestrales. Se concluye que la presencia de la costra en la superficie del suelo aumenta la actividad metabólica, el CO y la MO. En cuanto al pH, C.E, salinidad y %H no se registraron variaciones significativas.

Palabras claves: Propiedades edáficas, costra microbiótica, humedad del suelo, pH, salinidad, carbono orgánico en el suelo, materia orgánica.

Effects of microbiotic crust on soil properties, South of the “Los Barrancos” creek, Quíbor Valley, Venezuela

Abstract. On the floor of Quíbor, grows discontinuously a crust formed by lichens, bryophytes and cyanobacteria. The purpose of this research is to identify variations in the behaviours of some soil properties by comparing soil samples with and without crust. This is a field research developed in three phases: The first, called field, in order to collect samples of soil, with support in the random digits table

and from two longitudinal transects, they are used on every ten meters a quadrat square 25 x 25 cm; the second phase, laboratory, in which soil properties determined: *a)* physical as % moisture; *b)* chemicals such as salinity, pH, Electrical Conductivity (EC) and organic carbon (OC); and *c)* biochemical, including organic matter (OM) and carbon dioxide (CO₂) given off; the third phase, statistical analysis, “*t*” test

* Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas-Centro de Investigación “Estudio del Medio Físico Venezolano”, Av. Páez, Urbanización El Paraíso-Parroquia El Paraíso, Municipio Libertador, Caracas, Venezuela. E-mail: franklingeove@hotmail.com

Cómo citar:

Núñez Ravelo, F. (2014), “Efectos de la costra microbiótica en algunas propiedades del suelo en el sur de la quebrada Los Barrancos, Valle de Quíbor, Venezuela”, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 84, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 5-19, doi: 10.14350/ig.33959.

was used in order to identify significant changes between the two sample groups. We conclude that the presence of the crust on the soil surface increases metabolic activity, the OC and OM. As for pH, EC, salinity and % H there were no significant changes.

Key words: Soil properties, microbiotic crust, soil moisture, pH, salinity, organic carbon in the soil, organic matter.

INTRODUCCIÓN

Los suelos expuestos a condiciones de aridez o semiaridez, se encuentran por lo general altamente degradados, con problemas de erodabilidad y de fertilidad, lo cual está originado en gran medida por la escasa cobertura vegetal –asociada desde luego a la condición esporádica de las lluvias– pero también, por la permanente y continua sobreexplotación por parte de los seres humanos, con fines agrícolas y pecuarios.

Entre las medidas más factibles que se han propuesto para mitigar la degradación de los suelos, se encuentra la utilización de técnicas de cobertura y de incorporación de materia orgánica, así como el uso reciente de acondicionadores, con el fin de estabilizar la estructura y mejorar la porosidad y la infiltración del agua en el suelo (Lentz *et al.*, 1992).

Esta cobertura debe plantearse, entre otros criterios, a partir de la disponibilidad de organismos que se adaptan a las condiciones físico-geográficas del área. De allí que Johansen, Eldridge y Green (citados en Hawkes, 2003), sostienen que para las regiones áridas, existen evidencias que advierten de la influencia de los parches orgánicos, denominados costras biológicas o microbióticas, no solo en la fertilidad, sino además en la estabilidad de los suelos.

En relación con lo anterior, Ibáñez (2007) afirma que en los ecosistemas naturales, las costras microbióticas son extremadamente útiles, ya que contribuyen con la protección del suelo, de la degradación física asociada a la erosión.

Ahora bien, el debate sobre el término apropiado para referirse al agregado de microorganismo, se ha venido dando desde la segunda mitad del siglo XX. En tal sentido, Williams (1994) señala que el término de costras microbióticas del suelo empleado por Belnap es sinónimo a la corteza

del suelo descrita como microfloras por Loope y Gifford, costra criptogámica por Kleiner y Harper, biológica por Danin, organogénica según Evenari, biocostras o biogénicas por Thomas y Tsoar, microfitica según Cameron, biótica por McCune, y criptobiotica por Belnap.

Estos términos hacen referencia al conjunto de microorganismos que viven asociados conformando comunidades que pueden desarrollarse en las capas superficiales del suelo o bien sobre éste (Rivera *et al.*, 2004).

Términos más específicos dependen de los componentes más elementales que constituyen la costra: costra algácea, costra de líquen, costra de alga y líquen, costra de cianobacteria y alga, costra de cianobacteria y líquen, costra de líquen-musgo, entre otros.

De lo anterior, se infieren las posibles causas de su diferencial distribución espacial característica, siendo por lo general que 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).

Asimismo, las combinaciones de musgos, líquenes, algas (de oro-marrones, verde), cianobacterias, hongos, diatomeas, bacterias y microfauna asociadas con partículas del suelo, desarrollan una microtopografía áspera distintiva de la superficie de éste (Williams, 2004). Aunque las costras han sido encontradas en los ecosistemas árticos, boreales y áridos, es en estos últimos donde aparentemente tienen mayor importancia ecológica, ya que pueden llegar a cubrir hasta el 70% de la superficie (Rivera *et al.*, 2004).

En este mismo orden de ideas, es necesario destacar que los requerimientos específicos para la existencia y evolución de las costras microbióticas, son variados, dependiendo en todo caso de las especies que las constituyen, no obstante, en términos generales se puede señalar la necesidad de espacios abiertos y alta intensidad de luz, como condiciones necesarias para su presencia (Jiménez, 2007).

De allí que su distribución tiende a no ser uniforme en el paisaje, siendo extremadamente vulnerables al disturbio, incluyendo el fuego y el pisoteo, por lo que se pueden observar diferencias entre sitios debido a su historia de incendios y a diferencias resultantes de disturbios locales como senderos o veredas (Hawkes, 2003).

De acuerdo con Rivera *et al.* (2004) el tiempo de recuperación de las costras después de una perturbación es variable, ya que depende de su composición específica y de la región en donde se hallan.

Según lo reportado por los referidos autores para algunos desiertos norteamericanos, se ha estimado que las cianobacterias y los líquenes tardan en recuperarse de 35 a 65 años y de 45 a 85 años, respectivamente.

En otro orden de ideas, Guerrero y Berlanga (2002) sostienen que desde finales de la década de los sesenta del siglo pasado, la Ecología Microbiana ha dado importantes aportes a los estudios en edafología, basándose en los principios ecológicos generales, con el fin de indicar el papel de los microorganismos en la evolución y estado del suelo.

Así, trabajos desarrollados en la última década del siglo XX, están relacionados con medidas de fotosíntesis y evolución de CO₂ (Lange *et al.*, 1994, San José y Bravo, 1991); tasa de recuperación de la cobertura por aislamiento y posterior inoculación (Belnap, 1993; Falchini, *et al.*, 1996; Acea, *et al.* 2001), fijación de N₂ (Malam *et al.*, 2001) y C atmosférico (Beymer y Klopatek, 1991).

Las investigaciones de la primera década del siglo XXI, si bien no distan de las ya mencionadas, definen la tendencia, en cuanto a los criterios y métodos que se deben considerar en el estudio de la costra microbiótica como elemento indicador de la calidad del suelo, basándose en algunos casos en estudios submicroscópicos que explican el funcionamiento de estos ecosistemas a pequeña escala, para predecir y describir procesos que se registran a escalas mayores (De los Ríos *et al.*, 2004).

Especial mención merecen los trabajos de Maestre quien, desde España, ha emprendido una serie de investigaciones que constituyen referencias obligatorias para el estudio de las costras microbióticas y su relación con el suelo.

En efecto, Maestre (2003) publicó su estudio referido a la variación de la distribución espacial de los componentes de la costra biológica en un ecosistema mediterráneo semiárido, con el propósito de determinar si el microambiente proporcionado por la *Stipa tenacissima* promueve la aparición de cambios en el patrón individual de los componentes de la costra, de manera individual y en su covariación espacial.

Por su parte, Tongway *et al.* (2004) desarrollaron un estudio teórico referido a la heterogeneidad espacial y la gestión de medios semiáridos cuyo propósito fue revisar algunos conceptos básicos sobre la relación heterogeneidad-funcionamiento del ecosistema en zonas semiáridas. Dentro de los puntos concluyentes de este estudio, es necesario resaltar el reconocimiento que hacen los autores de la cianobacteria como los primeros organismos formadores de costras biológicas, que colonizan nuevas superficies, y advierten que su aplicación ha sido empleada, incluso a escala de gestión, bien en forma de translocación (transferencia de fragmentos de costra) o bien mediante la dispersión de inóculos.

En el contexto americano y en particular en los Estados Unidos, Muscha y Hild (2006) desarrollaron un estudio en Wyoming, con el propósito de comparar dos métodos de recolección de muestras de suelos con costras microbióticas que permitieran evaluar las características de las mismas en suelos con pastos y sin pastos. Desde el punto de vista metodológico, se basa en un trabajo de campo, donde se emplearon dos técnicas: una transecta de 20 m y una cuadrata de 0.25 m².

Las deducciones del referido estudio resultan significativas para esta investigación, ya que revelan que ambos métodos son confiables para determinar diferencias según sea el propósito. Afirman, los autores, que la aplicación de la técnica de la transecta no permitió detectar diferencias en algunas especies de líquenes; en efecto, algunos líquenes reportados mediante el método de la cuadrata no fueron documentados usando la transecta.

Según los autores, lo anterior se explica, ya que la cuadrata fue centrada en la superficie de la costra, por lo que parece razonable que la cuadrata permita reportar más especies de la costra en un lugar

dado. Además, porque las especies de líquen que se encontraron son errantes y de forma irregular, por lo que pueden ser más difíciles de identificar mediante la transecta. Concluyen señalando que la transecta proporciona probablemente una representación más equitativa de la abundancia absoluta de corteza biológica del suelo y de cubierta vegetal en un sitio, pero el método de la cuadrata proporcionó probablemente mayores estimaciones de la cubierta total de la costra, lo que supone identificar un mayor número de especies.

Por su parte, Hawkes (2003) realizó un estudio basado en el binomio de modelos de campo y experimental, cuyo propósito fue evaluar el papel de las costras biológicas en la biorrecuperación de algunas plantas en peligro de extinción en el matorral de Florida. El autor expone que las costras influyeron en la germinación de semillas en tres de cuatro de las especies herbáceas en estudio, incrementándola cuando las costras estaban intactas.

En México, Jiménez (2005) desarrolló un estudio basado en una caracterización funcional de las costras biológicas del suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. Desde el punto de vista metodológico, se basó en un modelo de campo que permitió la recolección de las muestras de suelo, la identificación de las especies agrupadas en la costra y su posterior clasificación, así como la aplicación de análisis de laboratorio que permitió cuantificar el contenido de carbono y nitrógeno total, así como su relación C:N. Luego de los múltiples hallazgos de la investigación, la autora concluye que las costras microbióticas intervienen en procesos relacionados con la estabilidad del suelo, función hidrológica e integridad biótica y que es necesario considerarla como un indicador de su calidad.

En Venezuela, Toledo (2006) realizó un estudio con el propósito de evaluar la interacción biológica y física de la costra microbiótica en la estabilidad y retención del suelo en Quíbor, Estado Lara; para ello desarrolló una metodología basada en una investigación de campo, que le permitió recolectar muestras de suelo a partir del método de la transecta y según la posición topográfica en las geoformas tipo cárcavas.

Posteriormente, las referidas muestras fueron estudiadas en laboratorio mediante las técnicas de

microscopía electrónica de barrido, microanálisis de rayos X, carbono de la biomasa microbiana, respiración basal, carbono orgánico, carbohidratos totales, nitrógeno total e índices ecofisiológicos microbianos, distribución de tamaño de partículas, distribución de tamaño de agregados estables al agua y medida de hidrofobicidad. Este estudio resulta de gran relevancia, ya que a diferencia de buena parte de las investigaciones hasta ahora reportadas, cuyos análisis se desarrollan en zonas cultivadas, en este caso, se establecen las bases para el estudio de las costras microbióticas en suelos naturales o no cultivados.

Toledo y Urbina (2008) publicaron un estudio preliminar de la influencia de la costra microbiótica en los suelos de Quíbor, mediante microanálisis de rayos-x (EDS) cuyo propósito fue 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. Los resultados de esta investigación resultan de interés ya que según lo reportado para el área en estudio, la composición química de la muestra del suelo cercano a los bordes de las diferentes estructuras de anclaje es similar a la de la muestra de suelo con presencia de cianobacterias; mientras que en las muestras de suelo con costra microbiótica el contenido de calcio es mayor que en el suelo sin costra microbiótica.

Toledo (2008a) presentó los resultados de una investigación dirigida a evaluar las propiedades biológicas y bioquímicas de la costra microbiótica como potencial biofertilizante y bioindicador para algunas prácticas de recuperación de suelos degradados en la región árida de Quíbor. La investigadora realizó una serie de análisis de laboratorio, entre los que destacan: *a*) carbono de la biomasa microbiana, *b*) respiración basal, *c*) contenido de carbono orgánico, *d*) contenido de carbohidratos totales, *e*) contenido de nitrógeno total, *f*) índices ecofisiológicos microbianos y *g*) actividad enzimática. En el referido estudio se demuestra la eficiencia metabólica de los microorganismos que componen la costra, expresado en un reciclaje intermitente de hidratos de carbono con una relación baja, rica en nitrógeno. Advierte que sin llegar a ser significativa para cultivos de altos requerimientos, la costra mi-

crobiótica es un fertilizante natural dotado de todos los componentes nutritivos: fracción orgánica, fracción inorgánica y el pool de enzimas.

Más recientemente, Núñez y Toledo (2013) estudiaron la variación en la composición de la costra microbiótica por grupos morfológicos según la exposición a condiciones de solana y umbría en un ambiente semiárido, evidenciando un crecimiento discontinuo: registrándose un 67.2% de cobertura en la zona de solana constituida por líquen, y en la zona de umbría ésta se extiende en el 100% de la superficie del suelo, constituida por 42.6% de líquen, 38.6% mixta y 18% de briofita, concluyendo que la referida distribución obedece a los mecanismos de adaptación particular de cada organismo a las condiciones ambientales. Siendo así, los líquenes, por ser planta poiquilohídrica, tiende a variar su estado de hidratación de acuerdo con las condiciones 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), lo cual le permite ampliar sus fronteras hacia áreas más expuestas a la radiación solar.

De allí que esta investigación tuvo como propósito, precisar las variaciones significativas en algunas propiedades edáficas en suelos con y sin presencia de costras microbióticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la depresión del Valle de Quíbor, localizada en la Parroquia Juan Bautista Rodríguez del Municipio Jiménez en el Estado Lara en Venezuela, más específicamente en la cuenca medio-alta de la quebrada Los Barrancos, enmarcada dentro de las coordenadas geográficas de los 09° 52' 53"- 09° 55' 53" N; y 69° 34' 53"-69° 36' 33" O (Figura 1).

Se trata de una gran hoya tectónica que de acuerdo con Strebin y Pérez (1982), ha sido colmatada por

sedimentos detríticos cuaternarios, provenientes de la erosión de las sierras vecinas. Actualmente está

caracterizada por un paisaje de terrazas escalonadas que pasan gradualmente a una planicie aluvial hacia el fondo de las depresiones. Las pendientes varían de 0 a 5%.

En cuanto a las características de sus suelos Elizalde *et al.* (2007) señalan que el balance geomorfológico de la zona muestra que las pérdidas por erosión son de intensidad mayor que las transformaciones de los materiales que dan lugar al desarrollo y evolución de los suelos, y ambos procesos son mucho mayores que las ganancias de materiales.

Rodríguez y Guédez (1985) caracterizan el suelo de la región como arcilloso fino, íltico e isohiper-térmico, calcáreo, con alta actividad y dominio del Ca en el complejo de cambio, salino, bajo en materia orgánica (MO). En cuanto a la mineralogía, Rodríguez (1982) identificó la presencia de arcillas dispersivas (ilita y pirofilita) y expansivas (montmorillonita).

De acuerdo con Elizalde *et al.* (2007), y atendiendo a los criterios de Soil Survey Staff de 1999, los suelos de la región clasifican en el orden de los Aridisols. Asociados a las zonas más áridas; en el suborden de los Cambids poseen horizontes con agregación de las partículas individuales en forma de terrones (agregados), ausencia de estructura de rocas en más de la mitad de su volumen y/o presencia de cantidades significativas de minerales meteorizables; y en el gran grupo de los Haplocambids (con endopedón cámbico delgado).

Por su parte, el análisis de las condiciones térmicas para el área en estudio, advierte que presenta una temperatura mínima media anual de 17.33° C, la máxima media anual estimada es de 31.05° C y la media anual es de 24.7° C. En cuanto a las lluvias, de acuerdo con Foghin (2002), la región de Quíbor clasifica en el tipo pluviométrico barquisimetano, que se caracteriza por presentar montos medios anuales que pueden variar, según la exposición local, desde menos de 400 hasta algo más de 500 mm.

En efecto, el monto anual de lluvias estimado para la Estación de Quíbor es de 527.8 mm con un régimen de lluvia bimodal: un periodo lluvioso principal en mayo con un monto promedio registrado de 72.8 mm lo que representa el 13.7% del

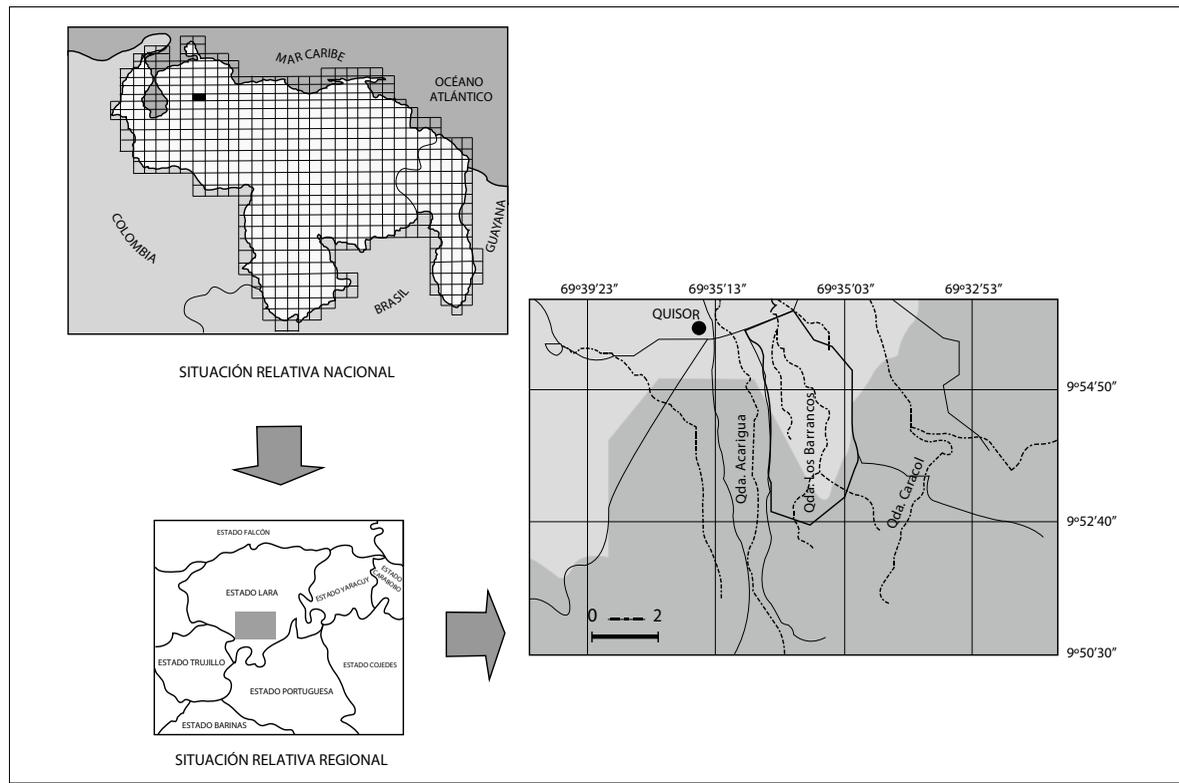


Figura 1. Mapa de localización del área en estudio en el contexto nacional, regional y local. (Mapa base: hoja El Touyo (N° 6245) de la Dirección de Cartografía Nacional del Ministerio de Obras Públicas.)

total de las lluvias; y el otro entre octubre y noviembre, donde se concentran poco más de 165 mm de las lluvias anuales, lo que constituye el 31.31%.

En contraste con las precipitaciones y como es típico de las zonas áridas y semiáridas, la evaporación durante todo el año es elevada, con un comportamiento uniforme, los montos mensuales son superiores a los 140 mm, alcanzando su máxima en marzo con 194 mm, y una anual estimada de 2 011.8 mm.

Es necesario señalar que la evaporación supera durante todos los meses a la precipitación, lo que genera un déficit hídrico estimado de 1 484 mm anuales.

Considerando lo antes expuesto y siguiendo el criterio de clasificación de Köppen, se puede afirmar que la zona en estudio se ubica en el clima Bsh o semiárido isotérmico.

Las fases de la investigación

El trabajo de investigación se orientará bajo el enfoque metodológico de campo, que, de acuerdo con el Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2008), supone el análisis sistemático de problemas de la realidad, con el propósito de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas conocidos.

Por su propósito, la investigación es de carácter descriptivo, explicativo y no experimental: *a)* descriptivo, ya que busca especificar las propiedades resaltantes del fenómeno que es sometido al análisis investigativo (Hernández *et al.*, 2010); *b)* explicativas, ya que están dirigidas a responder por las causas de los eventos y fenómenos. Es decir, se enfoca en

responder el por qué ocurre un fenómeno y en qué condición se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández *et al.*, 2010), y *c)* no experimental, ya que aun cuando el análisis se sustenta fundamentalmente en ensayos de laboratorio, solo 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).

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en tres fases: *a)* campo, *b)* laboratorio y *c)* análisis estadístico.

Fase de campo

El trabajo de campo se realizó en octubre de 2008, con la finalidad de recolectar las muestras de suelo con y sin costras biológicas, según el método de dígitos aleatorios en la cuadrata. La fecha fue seleccionada ya que es el inicio del periodo lluvioso, lo cual asegura que los microorganismos que componen la costra vienen de tolerar una etapa de desecación típica, asociada al periodo precedente de sequía. Por otro lado, realizar otro muestreo avanzado en el periodo lluvioso, resulta irrelevante para este tipo de estudio por tratarse de organismos poiquilohídricos

Para la selección del área de muestreo, se procedió de manera no probabilística, bajo un enfoque intencional que supone que el investigador obtiene información de unidades de análisis escogidas de acuerdo con criterios preestablecidos. La razón de hacer el muestreo de esta manera, obedece a que en los sistemas naturales, no es usual conocer de antemano una medida de variación de la variable de estudio, por lo que se requiere hacer suposiciones al respecto o realizar un estudio piloto para determinar esta variabilidad, lo cual resulta costoso (Klein, 2006). En tal sentido, es importante señalar que el muestreo se desarrolló sobre una zona con intervención antrópica reducida, en donde crece la costra microbiótica de manera natural, específicamente en el sector sur de la quebrada Los Barrancos en el Valle de Quíbor.

Sobre este terreno, se trazaron dos transectas o transeptos, atendiendo al criterio de exposición: En el primer caso se trazó una transecta de 90 m, en un

área expuesta al sol y con escasas o nulas estructuras vegetales arbóreas o arbustivas; para la segunda transecta se escogió un área con menor exposición al sol, por encontrarse resguardada a la sombra de formas vegetales arbustivas, por lo cual y atendiendo a las especificidades propias del área, fue necesario reducir la extensión de la transecta a 20 m.

Una vez seleccionadas las áreas de muestreo, para la recolección de las muestras de suelo se procedió bajo un enfoque probabilístico de tipo sistemático, el cual supone que se debe conocer la totalidad de la población, y se escoge de manera aleatoria a través de intervalos prefijados (Bautista, 2006). Para ambas transectas, cada 10 m se colocó la cuadrata cuadrada de 25 x 25 cm, a través de la tabla de dígitos aleatorios se tomaron dos muestras de suelo por cada punto de cuadrata totalizando entre las dos transectas 26 muestras, que posteriormente fueron analizadas mediante los respectivos ensayos de laboratorio.

En la referida recolección se trabajó con cincel y espátula, con el fin de coleccionar las muestras lo menos alteradas posible. Fueron rotuladas y se conservan refrigeradas a 4° C a fin de mantener vivos los organismos que constituyen las costras; se empleó una cava para su traslado al laboratorio y una vez en éste las muestras fueron resguardadas en nevera manteniendo la misma temperatura. En cada unidad de muestreo se dejó colocada una clavija georreferenciada para posteriores registros. El tamaño aproximado de cada muestra fue de 5 x 5 x 5 cm.

Fase de laboratorio

En esta fase de la investigación se llevó a cabo una serie de ensayos con el fin de evaluar las condiciones físicas, químicas y bioquímicas de las muestras de suelo con y sin costras microbióticas recolectadas en campo, siguiendo el protocolo recomendado por las fuentes especializadas, desarrollados según la naturaleza y propósito de los mismos.

La propiedad física, considerada como parte de esta investigación fue el contenido de agua higroscópica, determinada mediante el método gravimétrico, atendiendo a lo expuesto por Rivera *et al.* (2006) y Toledo (2009). Los referidos autores coinciden en señalar que el método gravimétrico

permite determinar el contenido de agua presente en una muestra de suelo mediante su desecación en el horno.

En cuanto a las propiedades químicas estudiadas, se determinó: *a) pH del suelo*, mediante el método del potenciómetro y de acuerdo con el protocolo establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica- USDA, 1999); *b) conductividad eléctrica (CE) y salinidad*, a partir del método del conductímetro y atendiendo a las especificidades de USDA (1999), para el pH y la conductividad eléctrica (CE) se emplearon en una relación suelo-agua 1:5 y posterior medición en un potenciómetro y conductímetro, respectivamente, y *c) Carbono Orgánico en el suelo (COs)*, empleando en método de Wlakley y Black, reportado por Arrieche y Pacheco (*s/f*) y Toledo (2008b).

Como propiedad bioquímica se analizó el contenido de Materia Orgánica (M.O.), mediante el factor convencional de Vammelen (citado por Navarro, 2007 y Toledo, 2008b) que supone multiplicar el %COs en cada caso por 1.724. El resultado fue cotejado con la escala cualitativa propuesta por PALMAVEN (1992), para interpretar el porcentaje de MO en el suelo.

Fase de análisis estadístico

En esta fase de la investigación se procedió al análisis estadístico de los resultados obtenidos para las variables en estudio. En tal sentido y con el propósito de determinar el efecto de la fuente de variación (la presencia de costra microbiótica) sobre el resto de las variables a medir, se realizó un análisis estadístico mediante una correlación múltiple de todas las variables, a partir del programa estadístico SPSS versión 7.5 (SPSS Inc., 1996). En efecto,

los datos fueron analizados mediante la prueba *T-studens*, con el propósito de identificar las posibles diferencias significativas en las propiedades edáficas de los suelos con y sin costra microbiótica.

RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

Función de la costra microbiótica como elemento modificador de las propiedades físicas, químicas y biológicas 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 Quíbor, presenta valores promedios que oscilan entre 0.91% de humedad higroscópica en las muestras de suelo con presencia de costra, hasta 1.12% de humedad en las muestras que no presentan evidencias del tapete microbiótico en la superficie el suelo, para una media general de 0.96% y una desviación estándar de 0.52 (Cuadro 1).

Como se evidencia, la prueba de Levene para el porcentaje de humedad del suelo, resultó no significativa, por lo cual se asume la igualdad de las varianzas entre los grupos muestrales, y se tomó el primer valor de *t*, reportado en la fila superior del estadístico, el cual arrojó una significancia superior a 0.05, lo que permite asumir la igualdad de las medias en ambos grupos muestrales y afirmar que no existen diferencias significativas entre éstos, por lo que se acepta la no incidencia de la costra microbiótica en esta propiedad del suelo.

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 cos-

Cuadro 1. Humedad en el suelo (%)

| Promedio general | Promedio para muestras con costras | Promedio para muestras sin costras | Desviación estándar | Prueba de Levene Igualdad de varianza | | Prueba <i>t</i> Igualdad de medias | |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------|------------------------------------|----------------|
| | | | | F | SIGNIFICANCIA | <i>t</i> | SIGNIFICANCIA |
| 0.96% | 0.91% | 1.12% | 0.52 | 0.108 | 0.746 | 1.425 1.383 | 0.167 0.196 |

tra (1.12%), permite afirmar que ambos grupos muestrales mantienen la misma tendencia hacia la baja humedad.

El referido contenido de agua se corresponde con las condiciones climáticas de la región, toda vez que la semiaridez minimiza el aporte de humedad al suelo, lo cual se evidencia en lluvias que apenas alcanzan los 527 mm anuales y cuyos máximos se registran en tres meses divididos en dos periodos que concentran aproximadamente el 45% del total de las lluvias, sumado a una evaporación que en todos los meses supera a las precipitaciones mensuales, para un anual de 2 011.8 mm, lo que se traduce en un déficit hídrico de poco más de 1 400 mm anuales y se refleja en las quebradas que nacen en los cerros cercanos a la depresión y dependen en su estacionalidad de los entornos pluviométricos.

Otro elemento climático que sin duda contribuye a la pérdida de humedad en la zona superficial del suelo (0 a 5 cm) lo constituyen las altas temperaturas que varían de 17.3 a 31.05° C, para una media anual de 24.7° C, lo que según Robinson (1967), incide en la aceleración de la velocidad de pérdida de agua por transpiración de las hojas y evaporación y señala que en iguales condiciones térmicas, las pérdidas de humedad son mayores en suelos cubiertos por vegetación que en suelos desnudos, lo cual guarda correspondencia con los resultados obtenidos en este estudio al comparar el porcentaje de humedad de las muestras correspondientes a suelos desnudos, con los reportados para las muestras a suelos resguardados bajo una estructura arbórea.

Lo anterior posiblemente indique que las costras microbióticas, si bien tienen la facultad de aportar humedad al suelo, luego de un largo periodo de

escasas precipitaciones y alta desecación, disminuye su capacidad como tapete protector de la desecación de la zona superficial del suelo y favorece la pérdida de agua por la evapotranspiración de las hojas.

pH del suelo

En general, los suelos bajo 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.

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^{+}).

Ahora bien, al comparar la media de pH obtenida para ambos grupos del suelo, se tiene que ambos clasifican como ligeramente alcalinos, sin variaciones significativas entre ambos grupos muestrales, de acuerdo con lo arrojado por la prueba *t* (Cuadro 2).

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 Quíbor, 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.

Cuadro 2. pH para las muestras de suelo con costra (por espécimen) y sin costra microbiótica

| Promedio general | Promedio para muestras con costras | Promedio para muestras sin costras | Desviación estándar | Prueba de Levene Igualdad de varianza | | Prueba <i>t</i> Igualdad de medias | |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| | | | | F | SIGNIFICANCIA | <i>t</i> | SIGNIFICANCIA |
| 7.74 | 7.79 | 7.6 | 0.20 | 3.543 | 0.72 | -2.486 -3.279 | 0.20 0.004 |

Al comparar los valores de CE media obtenidos de acuerdo con la cobertura, se tiene que ambos grupos muestrales clasifican como no salinos, por lo que para ambas variables no se evidencian diferencias significativas (significancia en la prueba $t > 0.05$) a partir de la presencia de la costra microbiótica en la superficie del suelo (Cuadro 3).

Carbono orgánico en el suelo (CO)

Según López *et al.* (2008), en las regiones semiáridas, donde la capacidad del suelo para la producción agrícola es limitada, el CO puede ejercer una gran influencia sobre la calidad del suelo favoreciendo la estabilidad estructural, la porosidad, la capacidad de agua disponible, la capacidad de intercambio catiónico, e incrementando, finalmente, la producción y los beneficios económicos del agricultor.

En la zona sur de la quebrada Los Barrancos en el Valle de Quíbor, se han registrado diferencias en el contenido de CO, en general, los suelos

sin costras microbióticas presentan una media de 0.14% de CO, mientras que los suelos con costras en superficie presentan incrementos importantes, que alcanzan un promedio de 0.36% de CO (Cuadro 4).

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

La Prueba de Levene para la igualdad de varianzas entre las medias de los dos grupos muestrales (superficie del suelo con costra y sin costra) referida a la variación de CO, indica que estadísticamente es significativa, por lo que se asume que las varianzas no son iguales, correspondiéndoles para cada caso, el valor de t de la fila inferior reportado en el Cuadro 4.

La prueba T para la igualdad de las medias, muestra una significancia de 0.000, por lo cual se asume que existe una diferencia significativa entre

Cuadro 3. Valores de CE y salinidad para las muestras de suelo con costra y sin costra microbiótica

| Variable | Promedio general | Promedio para muestras con costras | Promedio para muestras sin costras | Desviación estándar | Prueba de Levene Igualdad de varianza | | Prueba t Igualdad de medias | |
|-----------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | | | | | F | SIGNIFICANCIA | t | SIGNIFICANCIA |
| C.E. | 0.3935 dS/m a 25° C | 0.3444 dS/m a 25° C | 0.5574 dS/m a 25° C | 0.4054 | 11.04 | 0.003 | 2.076 1.590 | 0.49 0.154 |
| SALINIDAD | 0.20 ‰ | 0.17 ‰ | 0.28‰ | 0,19 | 10.197 | 0.004 | 2.271 1.764 | 0.32 0.118 |

Cuadro 4. Contenido de CO en el suelo con costra y sin costra microbiótica

| Promedio general | Promedio para muestras con costras | Promedio para muestras sin costras | Desviación estándar | Prueba de Levene Igualdad de varianza | | Prueba t Igualdad de medias | |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|----------------|
| | | | | F | SIGNIFICANCIA | t | SIGNIFICANCIA |
| 0.31% | 0.36% | 0.14% | 0.21 | 8.846 | 0.007 | -2.711 -4.184 | 0.012 0.000 |

ambos grupos muestrales (con costra y sin costra). El signo negativo en el estadístico t indica que para la variable se registran valores significativamente superiores en los suelos con presencia de costra, por lo cual se acepta que la costra microbiótica incide en el incremento del contenido de CO en el suelo.

En efecto, entre el 50 y 75% de las muestras sin costras analizadas presentan valores de CO entre 0.13 y 0.19%, los que posiblemente resulten bajos si se comparan con los valores de 0.26% a 0.48% para la misma fracción de las muestras de suelo con costras microbióticas (Figura 2).

El aporte de CO al suelo por la presencia de costras microbióticas resulta de gran importancia en las condiciones de semiaridez de la zona, ya que proporciona nutrientes como el N, que normalmente es deficitario según los requerimientos de la vegetación y cultivos (ONU-FAO, 2002). Lo anterior supone, en definitiva, un ligero incremento en la capacidad de intercambio catiónico, ya que ésta tiende a aumentar en función del incremento de CO en suelos arcillosos, además contribuye con la biodisponibilidad de otro elemento importante como P, K y Ca- por medio de la descomposición de los microorganismos (*Ibid.*).

Contenido de materia orgánica en el suelo (MO)

El análisis de materia orgánica efectuado a las muestras de suelo, permite afirmar que la superficie del suelo que no presenta costra microbiótica si muestra niveles de materia orgánica muy bajos (promedio MO = 0,24%), mientras que las muestras con costras presentan un incremento de más del 100%, ya que alcanza niveles promedios bajos (0.62%), (Cuadro 5).

Las diferencias entre ambos grupos muestrales quedan evidenciadas a partir de los resultados de

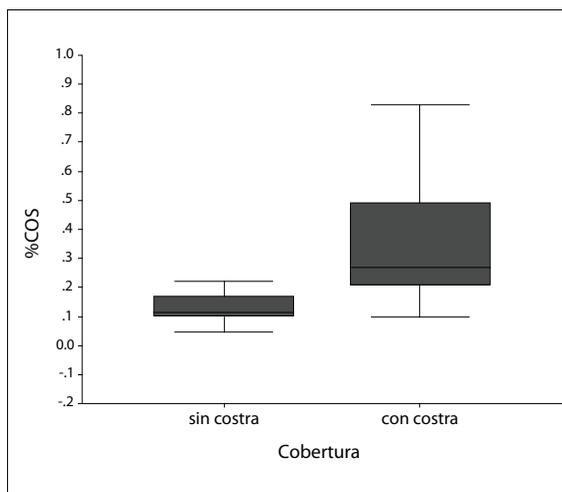


Figura 2. Boxplot de las variables cobertura y %CO.

la prueba de Levene para la igualdad de varianzas, la cual indica que estadísticamente es significativa (significancia < 0,05), por lo que se asume que las varianzas no son iguales. Siendo así, la prueba T para la igualdad de las medias muestra una significancia de 0.000, por lo cual se asume que existe una diferencia significativa entre ambos grupos muestrales, advirtiendo que la referida variable registra valores significativamente superiores en los suelos con presencia de costra, por lo cual se acepta que la presencia de la costra microbiótica incrementa el contenido de MO en el suelo.

En el caso del área en estudio es importante, si se considera que en las regiones áridas y semiáridas, el aporte de materia orgánica al suelo siempre será reducida, y cualquier aporte por mínimo que parezca, resulta fundamental para mejorar la calidad del mismo.

Cuadro 5. Contenido de MO en el suelo con costra y sin costra microbiótica

| Promedio general | Promedio para muestras con costras | Promedio para muestras sin costras | Desviación estándar | Prueba de Levene Igualdad de varianzas | | Prueba t Igualdad de medias | |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--|---------------|-------------------------------|----------------|
| | | | | F | SIGNIFICANCIA | t | SIGNIFICANCIA |
| 0.53% | 0.62% | 0.24% | 0.37 | 8.846 | 0.007 | -2.711 -4.184 | 0.012 0.000 |

En tal sentido, Casanova (2005) señala las ventajas que el uso de residuos vegetales y de microorganismos le ofrecen a los suelos tropicales: mejorando la estabilidad de los agregados y reduciendo la susceptibilidad de erosión, aumenta la CIC, y, la mineralización de la MO libera en el suelo cantidades apreciables de nitrógeno, azufre, fósforo y algunos micronutrientes esenciales para el crecimiento de la vegetación y producción de los cultivos.

Dióxido de carbono (CO₂) desprendido

Las muestras de suelo colectadas en la zona sur de la quebrada Los Barrancos en el Valle de Quíbor, presentaron diferencias importantes en cuanto al carbono mineralizado, siendo que en las muestras sin costras se registra una respiración basal promedio de 3.26 mgC-CO₂g⁻¹h⁻¹, mientras que en las muestras con costras microbióticas el valor promedio alcanza los 6.03 mgC-CO₂g⁻¹h⁻¹ (Cuadro 6).

Ahora bien, la referida diferencia entre ambos grupos muestrales queda evidenciada con el resultado de la prueba de Levene, el cual indica que estadísticamente es significativa (significancia < 0,05), por lo que se asume que las varianzas no son iguales. Por su parte, la prueba *t* para la igualdad de las medias, muestra una significancia de 0.001, por lo cual se asume que existe una diferencia significativa entre ambos grupos muestrales, presentándose valores superiores en los suelos con presencia de costra, por lo cual se asume que la presencia de la costra microbiótica incrementa el contenido de CO₂ en el suelo, lo que evidencia no solo el incremento de la actividad metabólica sino incluso de los microorganismos.

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. En efecto, 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 CO₂ es el último paso de la mineralización del carbono. Advierte que en suelos no perturbados (sin adición de nutrientes), habrá un balance ecológico entre los organismos y sus actividades.

Lo anterior no solo debe ser interpretado como una mayor eficiencia en la degradación de la materia orgánica y su consecuente aporte de nutrientes al suelo, sino que además advierte de la efectividad de las costras microbióticas, como micro hábitat para bacterias, hongos y actinomicetos, responsables del referido ciclaje de nutrientes.

CONCLUSIONES

Las condiciones pluviométricas en una zona semiárida, caracterizadas por un monto anual de lluvia que apenas alcanza los 527 mm anuales distribuidos bimodalmente en dos periodos lluviosos de tres meses en total (mayo y octubre-noviembre) y nueve meses de déficit pluviométrico (diciembre-abril y junio-septiembre), limitan el patrón de escorrentía y por ende la humedad de los suelos apenas alcanza

Cuadro 6. CO₂ Liberado en el suelo con costra (por espécimen) y sin costra microbiótica

| Promedio general | Promedio para muestras con costras | Promedio para muestras sin costras | Desviación estándar | Prueba de Levene Igualdad de varianza | | Prueba <i>t</i> Igualdad de medias | |
|---|---|---|---------------------|---------------------------------------|---------------|------------------------------------|----------------|
| | | | | F | SIGNIFICANCIA | <i>t</i> | SIGNIFICANCIA |
| 5.40 mgC-CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹ | 6.03 mgC-CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹ | 3.26 mgC-CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹ | 2.74 | 5.704 | 0.025 | -2.354 -3.679 | 0.027 0.001 |

en promedio 0.92%. De allí que luego de un largo periodo de sequía, los organismos constituyentes de las costras no tengan la capacidad de retener en los intersticios un volumen de agua considerable, por lo que no se evidencian diferencias significativas entre ambos grupos muestrales.

La existencia de las costras microbióticas en la superficie del suelo del sector sur de la quebrada Los Barrancos, contribuye a mejorar la calidad del suelo, toda vez que favorece el incremento de algunas propiedades químicas y bioquímicas del suelo. En efecto, en la zona objeto de estudio se registró un aumento del CO aproximadamente en un 150% al pasar de 0.14% en suelos sin costra a 0.36% en suelos con costra; similar tendencia se mantiene para la MO que pasa de 0.24% en suelos sin costra a 0.62% en suelos con costra y el CO₂ que asciende de 3.26 mgC-CO₂g⁻¹h⁻¹ a 6.03 mgC-CO₂g⁻¹h⁻¹

Pese a que algunas investigaciones como las de Davey y Marchant (1993) y trabajos como el de Casanova (2005) se refieran a las bondades de algunos organismos como las briofitas y los líquenes para contribuir a la alcalinización de los suelos, en esta investigación no se evidenciaron diferencias significativas introducidas por la presencia de la costra y sus organismos constituyentes en el pH como indicador de su calidad. Esto debido a que se trata de suelos naturalmente alcalinos, originados a partir de la meteorización de las calizas calcáreas de la Formación El Pegón del Mioceno superior.

Igualmente, no se evidenciaron diferencias significativas entre ambos grupos muestrales en las variables CE y salinidad, lo cual posiblemente se deba a la condición no salina de los suelos en la zona sur de la quebrada Los Barrancos en el Valle de Quíbor.

REFERENCIAS

- Acea, M., N. Diz and A. Prieto Fernández (2001), "Microbial populations in heated soils inoculated with cyanobacteria", *Biology and Fertility of Soil*, no. 33, pp. 118-125.
- Arrieche, I. y Y. Pacheco (s/f), "Determinación de carbono orgánico en muestras de suelos mediante dos procedimientos analíticos", *Revista VeneSuelo*, 6 (1 y 2) [http://avepagro.org.ve/venesuel/v06_1-2/v612a020.html : 22 de noviembre 2008].
- Bautista, M. (2006), *Manual de Metodología de Investigación*, Ediciones Talitip, Caracas-Venezuela.
- Belnap, J. (1993), "Recovery rates of cryptobiotic crusts: inoculant use and assessment methods", *Great Basin Naturalist*, vol. 53, no. 1, pp. 89-95.
- Beymer, R. and J. Klopatek (1991), "Potencial contribution of carbon by microphytic crusts in Pinyon-Juniper woodlands", *Arid Soil Research and Rehabilitation*, no. 5, pp. 187-198.
- Casanova, E. (2005), *Introducción a la ciencia del suelo*, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Davey, A. and H. Marchant (1983), "Seasonal variation in nitrogen fixation by *Nostoc commune* Vaucher at the vestfol Hills, Antarctica". *Phycologia*, no. 22, pp. 377-385.
- De los Ríos, A., C. Ascaso, J. Wierzechos, V. Fernández and A. Quesada (2004), "Microstructural characterization of cyanobacterial mats from the McMurdo Ice Shelf, Antarctica", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 70, no. 1, pp. 569-580.
- Elizalde, G., J. Vilorio y A. Rosales, (2007). "Geografía de los suelos de Venezuela", en *GeoVenezuela*, Fundación Polar, Venezuela, pp. 402-537.
- Falchini, L., E. Sparvoli and L. Tomaselli (1996), "Effect of *Nostoc* (Cyanobacteria) inoculation on the structure and stability of clay soils", *Biology and Fertility of Soils*, vol. 23, no. 3, pp. 346-352.
- Foghin, S. (2002), *Tiempo y clima en Venezuela*, Ediciones UPEL-IPJMSM, Venezuela.
- Grajales, T. (2000), *Tipos de Investigación* [http://www.tgrajales.net/inves tipos.pdf: 2008, junio ,13].
- Guerrero, R. y M. Berlanga (2002), "La ecología microbiana se hace mayor de edad", *Revista Latinoamericana de Microbiología* [http://www.microbiologia.org.mx/divulgacion/4-EcolBac tActSEM -dic-2002.pdf :20 de julio 2008].
- 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* [http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/209.pdf.: 12 de julio de 2008].
- Hernández, R., C. Fernández y P. Baptista (2010), *Metodología de la Investigación*, McGraw-Hill, Chile.
- Ibáñez, J. (2007), *Tipos de costra sobre la superficie del suelo* [http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2007/01/01/56361.aspx: 12 de julio de 2008].
- Jiménez, A. (2005), *Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí* [http://sipicyt.ipicyt.edu.mx/materialbiblioteca/Jimenez AguilarAngelica.pdf: 12 de agosto de 2008].

- Jiménez, A. (2007), *Dinámica estacional de costras biológicas en un pastizal semiárido bajo presión de pastoreo* [http://sipicyt.Ipicyt.edu.mx:7779/web/WebEventos2.despliegaEvento? p_cveEvento=702:09 de agosto de 2008].
- Klein, E. (2006), *Guía de laboratorio de Ecología General* [<http://www.intecmar.usb.ve/ klein/abecol/guia.:24 de agosto de 2008>].
- Lange, O., A. Meyer, H. Zellner and U. Heber (1994), "Photosynthesis and water relations of lichen soil crust: field measurements in the coastal fog zone of the Namib Desert", *Functional Ecology*, no. 8, pp. 253-264.
- Lentz, R., I. Shainberg, R. Sojka and D. Carter (1992), "Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers", *Soil Science Society of America Journal*, Madison, vol. 56, no. 6, pp. 1926-1932.
- López, M., N. Blanco, M. Limón y R. Gracia (2008), *Siembra directa en el secano aragonés: efecto sobre el carbono orgánico en el horizonte superficial del suelo* [http://www.nolaboreo.es/publicaciones/articulos/pdf/090915.Efectos_C_organicoPUBLICO.pdf]: 21 de diciembre de 2009].
- 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*, vol. 76, núm. 1, pp. 35-48 [<http://www.scielo.cl /pdf/rchnat/v76n1/art04.pdf>]: 24 de agosto de 2008].
- Maestre, F. (2008), "Espartales Ibéricos", *Investigación y Ciencia*, pp. 74-83 [disponible: <http://www.escet.urjc.es/biodiversos/espapersonal/fernando/papers/IyC2008.pdf>]: 24 de agosto de 2008].
- Malam, O., L. Stal, C. Défarge, A. Couté and J. Trichet (2001), "Nitrogen fixation by microbial crust from desiccated Sahelian soils (Niger)", *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 33, pp. 1425-1428.
- Mazparrote, S. y F. Delascio (1998), *Botánica*, Editorial Biosfera, Caracas, Venezuela.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional (1975), *Mapa topográfico El Tocuyo*, hoja 6245, escala base 1:100 000. Caracas, Venezuela.
- Muscha, J. and A. Hild (2006), "Biological soil crusts in grazed and ungrazed Wyoming sagebrush steppe", *Journal of Arid Environments*, no. 67, pp. 195-207 [<http://ddr.nal.usda.gov/ dspace/bits-tream/10113/28607/1/IND43818367.pdf>]: 08 de agosto de 2008].
- 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 [<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fan936v/doc/fan936v.pdf>]: 11 de diciembre de 2008].
- Núñez, F. y V. Toledo (2013), "Variación en la composición de las costras microbióticas según la exposición (solana y umbría), en el suelo del sector sur de la quebrada Los Barrancos, Valle de Quíbor, estado Lara", *Revista de Investigación*, vol. 3, núm. 78, enero-abril, pp. 193-212 [http://dialnet.unirioja.es/recursos/imagen?entidad=EJEMPLAR&tipo_contenido=90&ejemplar=343047:30 de septiembre de 2013].
- ONU-FAO (2002), *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [<http://www.fao.org/DOCREP/005/Y2 779S/Y2779S00.HTM>]: 21 de diciembre de 2009].
- PALMAVEN, Filial de Petróleos de Venezuela (1992), *Análisis de suelo y su interpretación, Serie Técnica*, publicaciones de divulgación científica, Caracas, Venezuela.
- Rivera, L., M. Goyal y M. Crespo (2006), *Métodos para medir la humedad en el suelo* [http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap02humedadppt.pdf]: 12 de junio de 2009].
- Rivera, V., I. Manuell y H. Godínez (2004), "Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas", *Ciencias* [<http://www.ejournal.unam.mx/cns/no75/CNS07508.pdf>]: 12 de junio de 2008].
- Robinson, G. (1967), *Los suelos: su origen, constitución y clasificación*, Ediciones Omega, Barcelona, España.
- Rodríguez, O. (1982), *Mineralogy and related properties of soils from Lara landscapes*, tesis de MS, Universidad de Georgia, USA.
- Rodríguez, O. y J. Guédez (1985), "Mineralogía, génesis y propiedades químicas de un suelo bajo cultivo de café en Villanueva, Estado Lara", *FUDECO, Suplemento Técnico N° 31*.
- San José, J. and C. Bravo (1991), "CO₂ exchange in soil algal crusts occurring in the Trachypogon savannas of the Orinoco Llanos, Venezuela", *Plant and Soil*, vol. 135, no. 2, pp. 233-244.
- Strebin, S. y J. Pérez (1982), *Capacidad de uso de las tierras del Estado Lara* [<http://www.ceniap.gov.ve/pbd/atlas/lara/arti/Capacidad%20de%20Uso%20de%20la%20Tie rras %20del%20Estado%20Lara.pdf>]: 10 de junio de 2008].
- 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 no publicada, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Postgrado en Ciencia del Suelo, Maracay, Estado Aragua.
- Toledo, V. (2008a), *Evaluación de las propiedades biológicas y bioquímicas de la costra microbiótica para la recuperación de suelos degradados en la región árida de Quíbor, Venezuela*, trabajo de ascenso a la categoría

- de Asociado, no publicado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas-D. C., Venezuela.
- Toledo, V. (2008b), *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*, no publicado, Curso Manejo de Instrumento de Laboratorio y Métodos de Cuantificación, Maestría e Geografía Física, UPEL – IPC.
- Toledo, V. y C. Urbina (2008), “Estudio preliminar de la influencia de la costra microbiótica en los suelos de Quíbor, Estado Lara, Venezuela, mediante microanálisis de rayos X (EDS)”, *Acta microscópica*, vol. 17, núm. 1, pp. 77-84.
- Tongway, D., J. Cortina y F. Maestre (2004), “Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos”, *Ecossistemas* [<http://www.um.es/gtiweb/allmetadata/medio%20semiaridos.htm>: 25 de julio de 2008].
- Universidad de Chile (s/f), Proyecto MECESUP, Modernización e Integración transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra [http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf: 13 de febrero de 2010].
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2008), *Manual de trabajo de grado de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales*, Caracas, Venezuela.
- USDA (1999), *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo* [<http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/KitSpanish.pdf>: 20 de agosto de 2008].
- Villafañe, R., R. Abarca, M. Azpúrua, T. Ruíz y J. Dugarte (1999), “Distribución espacial de la salinidad en los suelos de Quíbor y su relación con las limitaciones de drenaje y calidad del agua”, *Bioagro*, vol. 11, núm. 2, pp. 43-99 [[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): 20 de junio de 2008].
- Williams, J. (1994), *Microbiotic crusts: A review* [<http://www.icbemp.gov/science/williams.pdf>: 20 de junio de 2008].