



ACUMULACIÓN DE NUTRIENTES EN ISLAS DE FERTILIDAD BAJO COBERTURA DE COSTRA BIOLÓGICA DE SUELO

Duilio Torres¹; Adriana Florentino²; Abelardo Ospina²; Lué Merú Marcó¹; Nectali Rodríguez³; Héctor Yendis³

(1) Universidad "Lisandro Alvarado" (UCLA), Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Suelos (2) Universidad Central de Venezuela. Instituto de edafología. Maracay-Aragua. Sector El Limón, Maracay, Venezuela. A. P. 4579. (3) Complejo Docente el Hatillo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), Facultad de Agronomía Coro, carretera coro-La Vela. Núcleo Hatillo A. P. 4101, estado Falcón, Venezuela.

Palabras clave:

aridez, desertificación, microorganismos, restauración, sostenibilidad.

RESUMEN

Las islas de fertilidad son arreglos de vegetación que promueven la acumulación de nutrientes. Entre los componentes de éstas se encuentra la costra biológica de suelo (CBS), la cual cumple funciones de fijación de nitrógeno y solubilización del fósforo entre otras. En este estudio se tomaron muestras de suelos con presencia de costra biológica en la depresión de Quíbor (franco, pH 7,38 y CE 0,18 dS.m⁻¹) y en la Llanura de Coro (arenoso, pH 6,58 y CE 0,07 dS.m⁻¹). Las muestras fueron tomadas en dos condiciones con presencia de costra biológica de suelo: una con vegetación natural (parche) y otra sin vegetación (interparche). En las áreas de parche las especies dominantes fueron Prosopis juliflora en Quíbor y Jatropha curcas en Coro. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado, ubicando para cada condición tres microparcels, dentro de un área de 10 x 10 m. En cada microparcels se tomaron cinco muestras a la profundidad de 0-2,5 cm, utilizando cilindros metálicos de 2,5 cm de altura. Se determinaron las variables carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, manganeso, zinc, cobre, pH y CE. La mayor acumulación de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, cobre, manganeso y zinc) se encontró en la depresión de Quíbor, mientras que en la llanura de Coro, estos valores no difieren significativamente para las dos condiciones evaluadas.

NUTRIENT ACCUMULATION IN FERTILITY ISLANDS COVERED BY BIOLOGICAL SOIL CRUST

Key words:

aridity, desertification, microorganism, restoration, sustainability.

SUELOS ECUATORIALES

45 (1): 16-23

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

The fertility islands are vegetation arrangements that promote the accumulation of nutrients. A component is the biological soil crust (BSC), which performs functions of fixing nitrogen and phosphorous solubilization, among others. In this study, soil samples were taken in the presence of biological crusts at depression of Quíbor (free, pH, 7.38 and 0.18 dS.m⁻¹ EC) and the Plain of Coro (sandy, pH 6.58 and EC 0.07 dS.m⁻¹). Samples were taken in the presence of two conditions of BSC: one with natural vegetation (patch) and one without vegetation (inter-patch). In patch areas the dominant species were Prosopis juliflora in Quíbor and Jatropha curcas in Coro. A random stratified sampling was conducted, placing for each condition three micro-plots, within an area of 10 x 10 m. Five samples were taken at each micro-plot for the depth of 0-2.5 cm using a steel cylinder with a height of 2.5 cm. The variables total organic carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, manganese, zinc, copper, pH and EC were determined. The greatest accumulation of nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, copper, manganese and zinc) was found in Quíbor depression, while in the plain of Coro, these values did not differ significantly for the two evaluated conditions.

Rec.: 04.11.2014

Acep.: 08.05.2015

INTRODUCCIÓN

Las islas de fertilidad en los ecosistemas desérticos muestran alta concentración de carbono (C) y nitrógeno en el suelo y son unidades funcionales de ciclado de nutrientes distintas a los espacios abiertos que las acompañan (Perroni *et al.* 2010). Escudero *et al.* (2004), afirman que este tipo de asociación son parches de vegetación con una o varias especies que forman un patrón de bandas regulares atigradas o de elipses y círculos irregulares. Estos ecosistemas se caracterizan por la aportación aérea y subterránea de C y nutrientes al suelo como consecuencia de la generación de biomasa por la vegetación mediante la fotosíntesis. Las condiciones físicas de sombra, humedad y protección a altas temperaturas, de disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana que se crean en los puntos intensos, conforman ambientes favorables para el desarrollo de la vida. producto del microclima creado, así como la acumulación de recursos, fundamentalmente carbono, nitrógeno y fósforo, los cuales permiten aumentar la productividad de estos ecosistemas, los cuales son tradicionalmente pobres (Bashan *et al.* 2010). Entre los procesos que ocurren en estos ambientes, se destacan: a) La asociación simbiótica de plantas leguminosas, que incrementan el contenido de nitrógeno y materia orgánica, (West *et al.* 2000); b) la acumulación de nutrientes, producto de la descomposición de la hojarasca, que estimula la actividad microbiana.

Para comprender mejor el funcionamiento de estas islas de recursos se deben estudiar cada uno de los componentes que se han identificado dentro de ellas, destacando su importancia ecológica. En diferentes investigaciones se ha demostrado que las costras biológicas pueden incrementar la disponibilidad de nutrientes en la capa superficial de suelo, esto se debe fundamentalmente al incremento de las cargas negativas tanto de las partículas de arcillas como de las fracciones orgánicas asociadas a la CBS que permiten retener nutrientes como sodio, calcio, potasio y magnesio. (Belnap y Gardner, 1993). Bowker *et al.* (2005), destacan la importancia de la costra biológica sobre la disponibilidad de micronutrientes, encontrando una relación positiva entre los niveles de manganeso y zinc y la abundancia de costras biológicas, tanto de musgos como de líquenes.

Diversas investigaciones han demostrado, que la mejora de la estabilidad del suelo asociada a distintos grupos morfológicos de costra biológica de suelo (Jiménez Aguilar *et al.* 2009). Constratini *et al.* (2013), encontraron una relación positiva entre la presencia de la costra biológica suelo y la concentración de nutrientes como cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso y zinc, y negativamente con la concentración de P en la capa más superficial del suelo (Bowker *et al.* 2006).

El objetivo de esta investigación fue resaltar la importancia de las islas de fertilidad para la acumulación de macro y micronutrientes en zonas áridas venezolanas, destacando la importancia de la costra biológica de suelo como componente de este arreglo de vegetación, con el propósito de generar, a largo plazo, alternativas de manejo para la restauración de zonas degradadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la Depresión de Quíbor (estado Lara) y en la planicie de Coro, estado Falcón (Figura 1). En ambos sitios fue posible encontrar una costra biológica bien estabilizada, junto a otras reinstaladas en diferentes etapas de colonización y con diferentes comunidades de microorganismos, el porcentaje de cobertura con costra biológica fue de 60 % en las áreas bajo cobertura de vegetación en comparación a las zonas de interparches donde fue de 40 % y áreas abiertas 10 %. El clima se caracteriza por precipitaciones muy variables y erráticas, con promedio de 400 mm anuales, distribuidas de forma bimodal, con dos periodos de lluvia de Mayo-Junio y Septiembre-Octubre, la evapotranspiración promedia 3000 mm anuales, lo cual supera a la precipitación en todos los meses (INIA, 2015). Los suelos son de textura variable, desde arenosos en Falcón hasta franco limosos o franco arcillosos en Quíbor (Pérez *et al.* 1995). Se caracterizan por presentar una baja estabilidad estructural que los hace muy susceptibles a procesos de sellado, encostramiento, erosión y salinización (Mendoza *et al.* 2012; Villafañe *et al.* 1999).

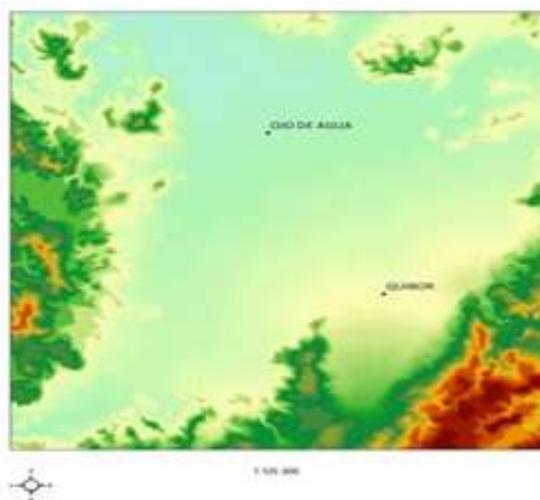


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo Quíbor (1) Coordenadas 433.874 m este y 1.096.272 m norte. Coro (2) Coordenadas 433.246 m este y 1.215.979 m norte. (continúa pag sig)

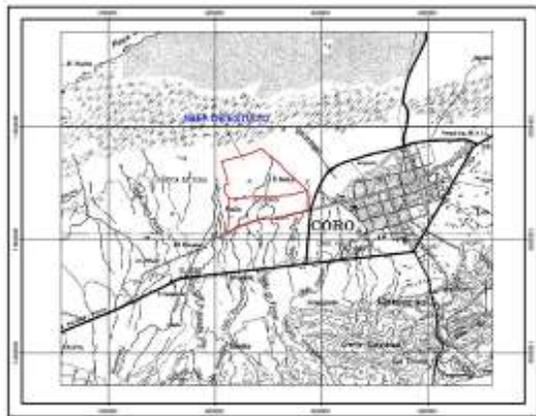


Figura 1. (continuación) Ubicación de los sitios de muestreos Quíbor (1) Coordenadas 433.874 m este y 1.096.272 m norte. Coro (2) Coordenadas 433.246 m este y 1.215.979 m norte.

Diseño de muestreo

Para realizar el muestreo y las determinaciones en campo se realizó un reconocimiento preliminar en cada sitio y se identificaron 2 condiciones: un suelo con costra dentro del parche de vegetación (P) y un suelo con costra en el área de interparche (IP). Con base en este reconocimiento se realizó un muestreo aleatorio estratificado, ubicando en cada condición tres (3) microparcelas de 0,5 m x 0,5 m c/u, dentro de un área de 10 x 10 m. En cada microparcela se tomaron muestras a la profundidad de 0-2,5 cm.

Se tomaron cinco muestras no disturbadas, utilizando cilindros metálicos de 2,5 cm de altura y 7,5 cm de diámetro. Estas muestras fueron extraídas utilizando un martillo de goma y una tabla para introducir el cilindro en el suelo, teniendo la precaución de no alterar la costra. En total se tuvieron 4 tratamientos, con 5 repeticiones para un total de 20 unidades experimentales en cada sitio de muestreo. Las repeticiones vienen dadas por las microparcelas, dentro de cada una de estas se tomaron 4 réplicas, las cuales constituyen una muestra compuesta. (Figura 2)

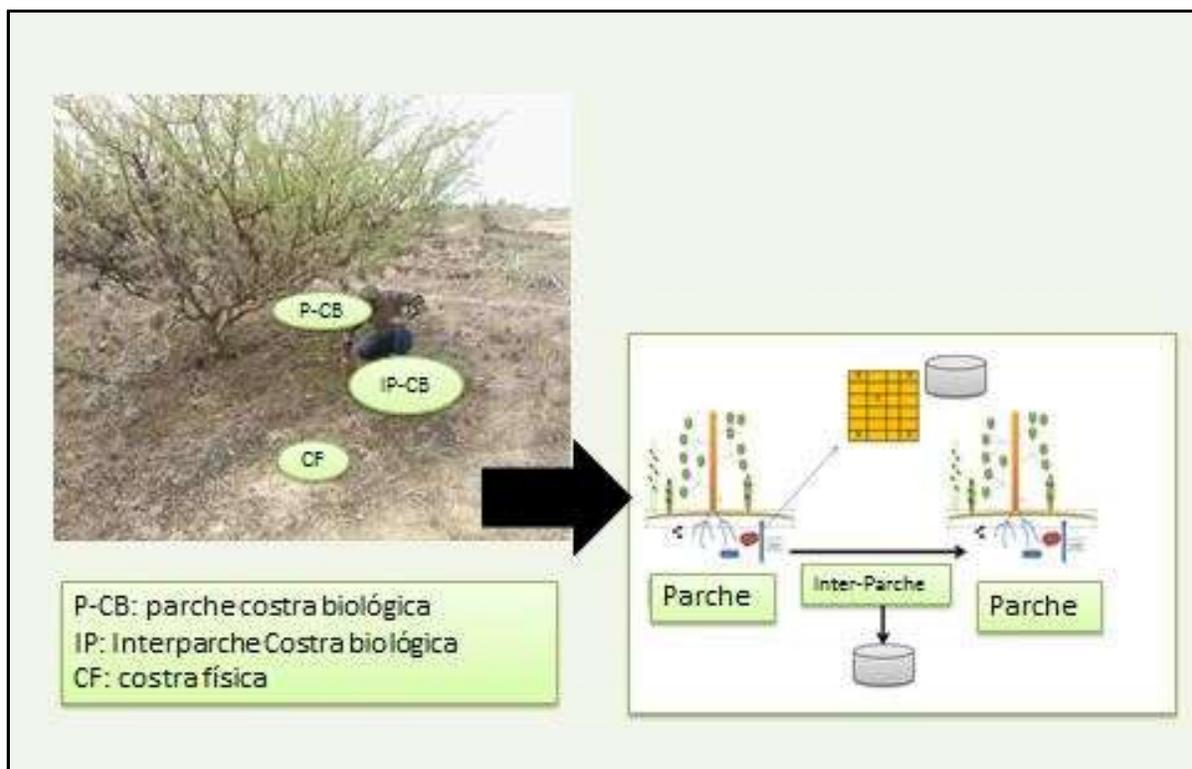


Figura 2. Protocolo de muestreo para la caracterización de costra biológica de suelo (CBS) en ecosistemas semiáridos de la depresión de Quíbor.

Descripción de los tratamientos a evaluar

El diseño de tratamiento fue de tipo factorial, siendo los factores evaluados: el arreglo de vegetación y la localidad. Las condiciones de vegetación a evaluar fueron: Parche (P), el cual corresponde a la isla de vegetación con presencia de costra biológica e Interparche (IP), el cual corresponde a un sitio con presencia de costra biológica de suelo, pero sin presencia de vegetación asociada a la costra biológica. La profundidad de muestreo fue de (0-2,5 cm). Las muestras fueron tomadas en la depresión de Quíbor y la llanura de Coro, localidades que difieren en sus biomas y características edáficas.

El bioma de la depresión de Quíbor se ubica en una zona de vida de bosque muy seco tropical (Ewel, 1972), el cual se caracteriza por presentar una vegetación mayormente constituida por una serie de especies de leguminosas arbustivas y arbóreas, donde plantas como la úbeda (*A. tortuosa*) y el cují (*P. juliflora*) presentan una población importante de individuos. La preferencia por estas especies es reportada dentro de las 24 más importantes que conforman el ecosistema pastizal-espinar para la depresión de Quíbor, mientras que la llanura de Coro, se caracteriza por una vegetación predominante de tipo arbustal xerófilo espinoso (Huber y Alarcón, 1988), en un paisaje predominantemente árido, con abundancia de especies de la familia de las cactáceas con pocas especies arbóreas, donde predominan como arbustos dominantes especies del género *Jatropha*.

Variables evaluadas y métodos.

Se cuantificó el contenido de macro y micronutrientes utilizando los métodos descritos por (Gilbert et al. 1990). Los elementos determinados fueron nitrógeno total (Kheldaj), fósforo (Olsen),

potasio, calcio y magnesio (extracción acetato de amonio y cuantificación por absorción atómica), magnesio, manganeso, zinc y cobre (extracción con EDTA y cuantificación por absorción atómica). Adicionalmente se realizaron otras determinaciones que incluían el contenido de materia orgánica (Walkley y Black), pH (relación suelo: agua 1:5, conductividad eléctrica (CE) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cual se determinó por suma de cationes.

Análisis de los datos

Se realizó un análisis de varianza (ANAVAR) para estimar diferencia entre los tratamientos evaluados, en aquellas variables que presentaron efectos significativos, se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey. Para examinar la dependencia entre las variables asociadas, se empleó el test de correlación de Pearson, empleándose un nivel de significancia de $P < 0,05$. El análisis estadístico fue realizado usando InfoStat (versión 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de macronutrientes en dos zonas semiáridas venezolanas con presencia de costras biológicas de suelo (CBS)

Los valores más altos para nitrógeno, fósforo potasio y magnesio fueron encontrados en los suelos con cobertura de CBS dentro de las islas de fertilidad en la depresión de Quíbor (Figura 3), en comparación a la Llanura de Coro donde no se observaron diferencias significativas entre los macronutrientes evaluados ($p < 0,05$). Los nutrientes que presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) fueron: nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio.

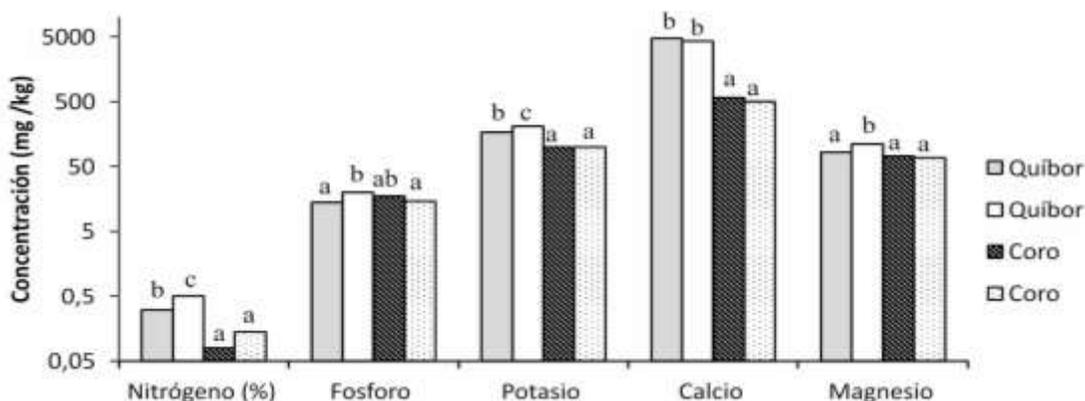


Figura 3. Contenido de macronutrientes en dos zonas semiáridas venezolanas con presencias de costras biológicas de suelo (CBS). Leyenda: Parche (P): corresponde a la isla de vegetación con presencia de costra biológica; Interparche (IP) corresponde a un sitio con presencia de costra biológica de suelo, pero sin presencia de vegetación asociada a la costra. Valores seguidos de la misma letra para cada elemento indican que no son estadísticamente diferentes para $p \leq 0,05$ según Tukey.

El incremento de nutrientes dentro de las islas de fertilidad ubicadas en Quíbor puede ser explicado por los aportes de la materia orgánica proveniente de la vegetación nativa, pero también por la presencia de microorganismos autótrofos que forman parte de la costra biológica y que son capaces de cumplir funciones metabólicas como la fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo y mineralización de la materia orgánica. En Coro los parches de vegetación presentaron una menor biodiversidad, además de que se encontró una menor cobertura de CBS, y una menor actividad fotosintética, al encontrarse menores valores de clorofila (Torres *et al.* 2014), lo cual explica la menor acumulación de nutrientes.

Ochoa Hueso *et al.* (2011), señalan que las concentraciones de nutrientes en el suelo responden también a los cambios en la cobertura vegetal, al tipo de la especie vegetal dominante y al grupo morfológico predominante dentro de la costra biológica. Montaña *et al.* 2006, encontraron que el fósforo disponible y el nitrógeno total fueron entre tres y ocho veces mayores en el suelo asociado a *Prosopis juliflora*. Estos resultados pueden deberse al aporte de estos nutrientes a partir de la descomposición de la materia orgánica, así como la fijación biológica de nitrógeno por parte de esta leguminosa y por la actividad de las cianobacterias presentes en la costra biológica de suelo.

Perroni *et al.* (2010), afirman que en las zonas de interparches, las entradas de materia orgánica son menores en comparación con los suelos ubicados

dentro de la isla de recursos. Aponte *et al.* (2011), mencionan que el microclima que se crea bajo la isla de fertilidad mitiga las condiciones de stress características de las zonas semiáridas, estimulando la actividad microbiana y favoreciendo los procesos de mineralización de la materia orgánica.

En la Llanura de Coro no se observaron diferencias significativas en el contenido de macronutrientes a excepción del fósforo ($p < 0,05$). Estos resultados se deben al menor contenido de arcilla, en comparación a los suelos de Quíbor. Jafari *et al.* (2004), encontraron que en suelos arcillosos el calcio y sodio y en menor grado el magnesio son retenidos por las paredes celulares de los líquenes y cuando ocurren procesos de secado y humedecimiento, estos nutrientes son separados de los líquenes y adsorbidos por las partículas de arcillas, mientras que en suelos arenosos los nutrientes separados de los líquenes no son retenidos, lo cual conlleva a pérdidas de los mismos por lixiviación.

Contenido de micronutrientes en dos zonas semiáridas venezolanas con presencia de costras biológicas de suelo (CBS)

En lo referente a los micronutrientes en la depresión de Quíbor, se observó un incremento en los contenidos de manganeso y zinc en la costra bajo cobertura de parche, mientras que en la llanura de Coro sólo se evidenció un incremento significativo para el manganeso (Figura 4).

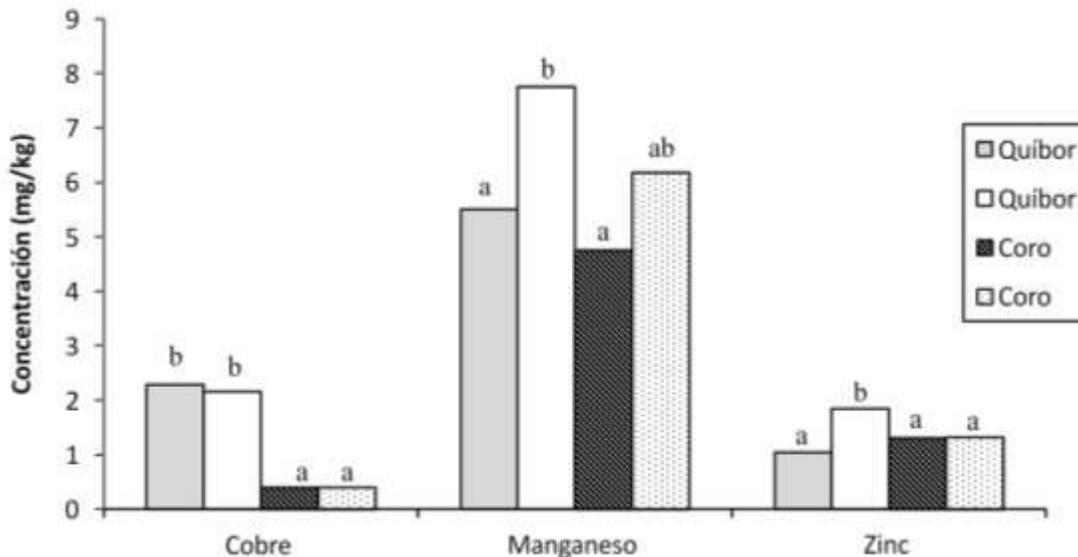


Figura 4. Contenido de micronutrientes en dos zonas semiáridas venezolanas con presencias de costras biológicas de suelo (CBS). Leyenda: Parche (P): corresponde a la isla de vegetación con presencia de costra biológica; Interparche (IP) corresponde a un sitio con presencia de costra biológica de suelo, pero sin presencia de vegetación asociada a la costra. Valores seguidos de la misma letra para cada elemento indican que no son estadísticamente diferentes para $p \leq 0,05$ según Tukey

Bowker *et al.* (2005), destacan la importancia de la costra biológica sobre la disponibilidad de micronutrientes, encontrando una relación positiva entre los niveles de manganeso y zinc y la extensión de suelo bajo cobertura de costras biológicas. Se ha reportado que la deficiencia de micronutrientes es común en las regiones áridas y semiáridas.

Parámetros químicos en dos zonas semiáridas venezolanas con presencias de costras biológicas de suelo (CBS)

En la figura 3, no se evidencian cambios para los parámetros químicos de los suelos evaluados, a excepción de los valores de pH y CE los cuales fueron

significativamente mayores ($p < 0,05$) en los suelos ubicados dentro del parche de vegetación, ubicados en la depresión de Quíbor. Los resultados coinciden con los reportados por Sprote *et al.* (2010), quienes encontraron una relación entre el desarrollo de la CBS y el pH. El incremento en el pH y la CE en Quíbor, puede ser explicado por el mayor contenido de arcilla y a la materia orgánica producto de la mineralización de los residuos de hojarasca, lo que conlleva a un incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), favoreciendo la retención de cationes, especialmente básicos, mientras que en la Llanura de Coro, la naturaleza, arenosa de los suelos y la baja CIC, favorecen la lixiviación de nutrientes, llevando a la reducción del pH y la CE.

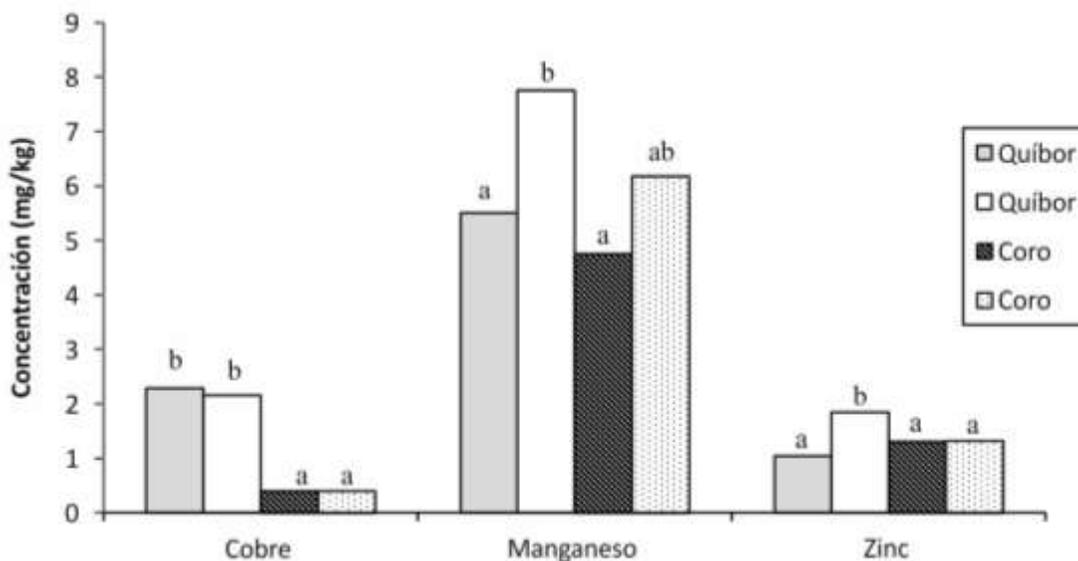


Figura 5. Parámetros químicos en dos zonas semiáridas venezolanas con presencias de costras biológicas de suelo (CBS). Leyenda: Parche (P): corresponde a la isla de vegetación con presencia de costra biológica; Interparche (IP) corresponde a un sitio con presencia de costra biológica de suelo, pero sin presencia de vegetación asociada a la costra. Valores seguidos de la misma letra para cada parámetro indican que no son estadísticamente diferentes para $p \leq 0,05$ según Tukey.

Con relación al carbono orgánico no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) al comparar los valores obtenidos dentro del parche de vegetación con respecto a los valores encontrados en las áreas externas. Estos resultados difieren de los reportados por Montaña-Arias *et al.* (2006) y Perroni *et al.* (2010), quienes reportaron que los suelos bajo cobertura vegetal especialmente de leguminosas poseen mayor contenido de carbono orgánico en el área bajo vegetación en comparación a las áreas externas.

CONCLUSIONES

La mayor acumulación de nutrientes fue observada dentro de la zona de parche (P) de la depresión de Quíbor, este incremento estuvo asociado a una mayor acumulación de materia orgánica en comparación a

los suelos con presencia de CBS ubicados en Coro, así como una mayor cobertura de costra biológica de suelo.

Los cambios texturales contrastantes entre la zona de Quíbor y Coro, influyeron en la acumulación de nutrientes, dado que en Quíbor se observaron valores altos de capacidad de intercambio catiónico en comparación a Coro, donde los altos contenidos de arena pudieron favorecer los procesos de lixiviación de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo científico y Tecnológico de la UCLA (CDCHT) proyecto registrado bajo el código AG-2013-9: DINÁMICA DEL CARBONO EDÁFICO Y

CICLAJE DE N y P COMO INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS EN UN ECOSISTEMA SEMIARIDO DE LA DEPRESION DE QUIBOR CON PRESENCIA DE BIOCOSTRAS por el aporte económico otorgado para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- APONTE H, PAOLINI J, MOGOLLON J P. (2011). Efecto del Cují asociado al cultivo de sábila sobre las propiedades bioquímicas de un suelo del semiárido falconiano. *Agronomía Trop* 61 (1):5-13.
- BASHAN Y, DE-BASHAN, L. (2010). Microbial Populations of Arid Lands and their Potential for Restoration of Deserts. *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*, *Soil Biology* 21:109-137.
- BELNAP J, GARDNER J. (1993). Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Great Basin Naturalist*, 53, 40-47.
- BOWKER M, BELNAP J, DAVIDSON D, PHILLIPS S. (2005). Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: importance to arid-lands restoration. *Ecol Appl* 15:1941-1951.
- BOWKER M, BELNAP J, DAVIDSON D, GOLDSTEIN H. (2006). Correlates of biological soil crust abundance across a continuum of spatial scales: support for a hierarchical conceptual model. *Journal of Applied Ecology* 43: 152-163.
- CONCOSTRINA-ZUBIRI L, HUBER-SANNWALD E, MARTÍNEZ I, FLORES J, ESCUDERO A. (2013). Biological soil crusts greatly contribute to small-scale soil heterogeneity along a grazing gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 64: 28-36.
- ESCUDERO A, GIMÉNEZ-BENAVIDES L, IRIONDO J, RUBIO A. (2004). Patch dynamics and islands of fertility in a high mountain in Mediterranean community. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 36:518-527.
- EWEL J. MADRIZ A, TOSI J. (1976). Zonas de vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cria. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ed 2. Caracas. Venezuela. 265 p.
- GILABERT DE B J, LÓPEZ DE I, HERRERA L, GARCÍA E. (1990). Estimación de las necesidades actuales y potenciales de fertilizantes y enmiendas en función de los análisis de suelo. XI proyección de las necesidades de roca fosfórica en pastizales cultivados. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias., Serie C, N° 34. 21p.
- HUBER O, ALARCON C. (1988). Mapa de tipo de vegetación de Venezuela. MARNR, Caracas. Venezuela.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS. (2015). Red agroclimatológica Nacional. www.inia.gob.ve.
- JAFARI M, TAVILI A, ZARGHAM N, HESHMATI, A, ZARE A. (2004). Comparing some properties of crusted and uncrusted soils in Alagol region of Iran. *Pak. J. Nutr.*, 3: 273-277.
- JIMÉNEZ AGUILAR A, HUBER-SANNWALD E, BELNAP J, SMART D, ARREDONDO T. (2009). Biological soil crusts exhibit a dynamic response to seasonal rain and release from grazing with implications for soil stability. *Journal of Arid Environments* 73: 1158-1169.
- MENDOZA B, FLORENTINO A, HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ R, ACIEGO J, TORRES D. (2012). Atributos biológicos del suelo con aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (1): 409-421.
- MONTAÑO-ARIAS N, GARCÍA-SÁNCHEZ R, OCHOA-DE LA ROSA G, MONROY-ATA A. (2006). Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra latinoamericana*. 24:193-205.
- OCHOA-HUESO R, HERNANDEZ R, PUEYO J, MANRIQUE E. (2011). Spatial distribution and physiology of biological soil crusts from semi-arid central Spain are related to soil chemistry and shrub cover. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 1894-1901.
- PÉREZ J, SCHARGEL R, GÓMEZ J, OHEP C. (1995). Estudio semidetallado de suelos a nivel de series del Valle de Quíbor. Sistema Hidráulico Yacambú Quíbor (SHYQ). Barquisimeto. Venezuela.
- PERRONI-VENTURA Y, MONTAÑA C, GARCÍA-OLIVA F. (2010). Carbon-nitrogen interactions

- in fertility island soil from a tropical semi-arid ecosystem. *Functional Ecology* 24:233-242
- SPRÖTE R, FISCHER T, VESTE M, RAAB T, WIEHE W, LANGE P, BENS O, HÜTTL R. (2010). Biological topsoil crusts at early successional stages on Quaternary substrates dumped by mining in Brandenburg, NE Germany. *Géomorphologie: relief, processes, environment*, (4): 359-370.
- TORRES D, FLORENTINO A, OSPINA A, MARCO L, COLMENARES C, YENDIS H. (2014). Concentración de clorofila y disponibilidad de nutrientes en suelos con presencia de costra biológica de suelo (CBS). *Suelos Ecuatoriales* 42 (2): 90-95.
- VILLAFANE R, ABARCA O, AZPÚRUA M, RUIZ T, DUGARTE, j. (1999). Distribución espacial de la salinidad en los suelos de Quíbor y su relación con las limitaciones de drenaje y la calidad del agua. *Bioagro* 11(2): 43-50.