

EFECTO DEL CUJÍ ASOCIADO AL CULTIVO DE SÁBILA SOBRE LAS PROPIEDADES BIOQUÍMICAS DE UN SUELO DEL SEMIÁRIDO FALCONIANO¹

EFFECT OF CUJI ASSOCIATED WITH ALOE ON THE SOIL BIOCHEMICAL PROPERTIES IN SEMIARID REGIONS OF FALCON STATE¹

Humberto Aponte*, Jorge Paolini** y José Pastor Mogollón*

¹Trabajo financiado por Fundacite Falcón a través del proyecto N° 2010-013.

*Profesores. Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda” (UNEFM). Estado Falcón Venezuela.

**Investigador. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Centro de Ecología. Estado Miranda. Venezuela.

Correo electrónico: titoaponte43@gmail.com; mapire3000@yahoo.com; jmogollon15@gmail.com

RESUMEN

Se evaluó el efecto del cují, *Prosopis juliflora*, asociado al cultivo de sábila, *Aloe vera*, sobre la fertilidad biológica y química de suelos del sector El Cebollal del estado Falcón. Se consideraron dos condiciones de manejo: sábila bajo sombra de cují y sábila a plena exposición solar. Se seleccionaron nueve árboles de cují evaluando los suelos bajo la copa de los mismos (1 y 3 m de la base del árbol) y fuera de la misma (a plena exposición solar). Se determinó: carbono orgánico total (COt), nitrógeno total (Nt), fósforo disponible (Pd), pH, porcentaje de humedad (%H), textura, hidrólisis del diacetato de fluoresceína (DAF), actividad de la deshidrogenasa (AD), fosfatasa alcalina, β -Glucosidasa y ureasa. Los resultados indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Se observó un gradiente con relación al contenido de nutrimentos y a la actividad microbiana, de mayores a menores valores, en la medida en que aumenta la distancia desde la base del árbol hasta la zona de plena exposición solar. Se encontró una alta correlación entre las actividades enzimáticas y los niveles de materia orgánica (MO) del suelo, demostrando la importancia del carbono orgánico en los ecosistemas semiáridos. El cují al encontrarse ampliamente distribuido en el semiárido falconiano y por sus características que le permiten sobrevivir en ecosistemas con condiciones de estrés hídrico, puede actuar como islas de fertilidad, contribuyendo a la salud y calidad del suelo, generando un aporte de MO y nutrimentos bajo la copa del mismo, aumentando el sustrato para la actividad microbiana.

Palabras Clave: *Prosopis juliflora*; *Aloe vera*; cultivos asociados; fertilidad del suelo; materia orgánica; actividad enzimática; zona semiárida.

SUMMARY

The effect of cují, *Prosopis juliflora*, associated with sábila crop, *Aloe vera*, on the biological fertility and chemical properties of soil, at the sector El Cebollal of Falcon State, was evaluated. We considered two management conditions: aloe under cují shade and aloe in full sunlight. Nine cují trees were selected for evaluating soils under the canopy of them (1 and 3 m from the base of the tree) and outside it (full sunlight). Were determined: total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), phosphorus available (Pa), pH, percentage moisture (% H), texture, hydrolysis of fluorescein diacetate (DAF), dehydrogenase activity (AD), alkaline phosphatase, β -Glucosidase and urease. The results indicate statistically significant differences between treatments evaluated. There was a gradient in relation to nutrient content and microbial activity, from greater to lesser values, as the distance increases from the base of the tree to the area of full sunlight. We found a high correlation between enzyme activities and levels of soil organic matter (OM), demonstrating the importance of organic carbon in semiarid ecosystems. Cují are widely distributed in the falconian semiarid area because of characteristics that allow their survival in ecosystems with conditions of water stress, so that can acts as fertility islands, contributing to the health and quality of soil, generating a contribution of OM and nutrients under the canopy of the same and increasing the substrate for microbial activity.

Keys Words: *Prosopis juliflora*; *Aloe vera*; cropping associated; soil fertility; organic matter; enzyme activity; semiarid zone.

INTRODUCCIÓN

Las regiones semiáridas, tradicionalmente son vistas como áreas de poca productividad y por lo general están sometidas a usos no amigables con el ambiente (López *et al.*, 2003). En Venezuela, alrededor del 5% del territorio nacional corresponde a las zonas áridas o semiáridas y estos ambientes se consideran como los más susceptibles al proceso de desertificación, siendo poco aptas para el proceso de producción agrícola (García, 1999). Aún así, se debe hacer énfasis en que estas áreas presentan un alto potencial para incrementar la productividad, siempre y cuando se haga un manejo apropiado de sus tierras para lograr sistemas agrícolas sostenibles (Rodríguez, 2002).

Es importante resaltar que para la ejecución de prácticas de manejo conservacionistas, es necesario generar modelos alternativos de producción que presenten menor demanda hídrica y mayor resistencia a los cambios climáticos ya evidentes en la zona, que permitan un óptimo desarrollo económico y la conservación de los suelos destinados a este tipo de uso de la tierra. Una de las medidas de interés en el estado Falcón, es la implementación de sistemas agroforestales, debido a que estos constituyen una alternativa para estas zonas, de modo que, ayuden a proporcionar una mayor seguridad contra las variaciones climáticas; además de que forman la base de muchos sistemas de agricultura en regiones tropicales semiáridas, aportando beneficios socioeconómicos y culturales (Díaz, 2001; García, 1999).

Por su parte, Paolini *et al.* (2010) encontraron una mayor actividad biológica expresada por las actividades enzimáticas intracelulares y exocelulares en suelos bajo vegetación nativa, en contraste con los suelos bajo cultivo de sábila, *Aloe vera*, y melón de la microcuenca "El Socorro-Jadacaquiva", ésto por efecto del aporte directo de materia orgánica (MO) y la protección del horizonte superficial del suelo que brinda la vegetación contra los agentes erosivos.

Dada la influencia de la vegetación del semiárido falconiano y la amplia presencia del cují, *Prosopis juliflora*, además de su alta tolerancia hídrica y química, Matteucci *et al.* (1991), reconocen la cualidad de esta leguminosa como una fuente de MO, recalando la riqueza nutritiva que poseen sus vainas, las cuales se producen satisfactoriamente en la época seca. Además, el cují, por ser una especie perteneciente a la familia de las leguminosas ofrece una mayor disponibilidad de nitrógeno (N) al establecer asociación con bacterias que fijan el N₂ atmosférico. Adicionalmente, esta especie genera condiciones

favorables para el desarrollo de otras especies vegetales bajo su copa (Herrera *et al.*, 2007).

Por esta razón, en este trabajo se realizó la evaluación de las propiedades bioquímicas de los suelos del sector "El Cebollal", donde existe la asociación entre el cují y el cultivo de sábila, con el objetivo de determinar el efecto que ejerce la utilización de esta leguminosa sobre las características bioquímicas de los suelos del semiárido falconiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características de los sitios de muestreo

El estudio se desarrolló en las zonas aledañas del centro poblado "Cujima" del sector "El Cebollal", municipio Miranda, estado Falcón, ubicado entre los meridianos 11°24'18" y 11°22'30" Norte, y 69°48'54" y 69°47'6" para el Oeste. La parcela se encuentra ubicada dentro de la serie de suelos denominada El Patillal, con suelos clasificados como Ustic Haplargids, con una textura franco-arenosa, con permeabilidad rápida, conductividad eléctrica muy baja, pH alcalino y alto porcentaje de saturación con bases (Rodríguez *et al.*, 2009).

Muestreo de suelos

Las muestras de suelo fueron colectadas en una parcela de 3 ha que presenta un sistema de cultivo de sábila a plena exposición solar, con una distancia de siembra de 0,5 m x 0,5 m; en esta parcela existen arboles de cují a una densidad baja (15 árboles/ha), lo cual condiciona la presencia de plantas de sábila bajo sombra del cují.

El muestreo de suelo fue realizado en junio de 2010. En total se seleccionaron nueve árboles de cují a lo largo de la parcela para determinar cada condición de muestreo: sábila bajo cují (1 y 3 m de la base del árbol; Tratamiento 1 y 2, respectivamente) y sábila a plena exposición solar (Tratamiento 3). Por tratamiento se tomó nueve muestras de suelo compuestas, para evaluar bajo la copa de cují y bajo sábila, a plena exposición solar. Las muestras fueron colectadas a una profundidad de 0-5 cm del suelo, debido a que allí es donde se concentra significativamente la actividad microbiana.

Una vez colectadas las muestras en bolsas plásticas resistentes, fueron trasladadas al Laboratorio de Ecología de Suelos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Seguidamente, se separaron en dos

porciones, una fue secada al aire y pasada por un tamiz de 2 mm, para realizar los análisis físicos y químicos. La otra porción fue tamizada (2 mm) a la humedad de campo y refrigerada (4 °C), para realizar los análisis bioquímicos posteriormente.

Análisis físico-químicos del suelo

El pH se midió en agua en una relación 1:2,5 (FONAIAP, 1990). Las fracciones granulométricas se determinaron mediante el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962). El carbono total del suelo se determinó mediante oxidación húmeda con ácido sulfúrico concentrado y dicromato de potasio (Walkley y Black, 1934), la cantidad de carbono orgánico (CO) oxidado por el cromo (VI) se midió por colorimetría a una longitud de onda de 600 nm, mediante la concentración del cromo (III) formado durante la reacción (Sims y Haby, 1971). Se comparó el color con las lecturas de una curva de calibración preparada previamente con soluciones patrones de glucosa, sometidas al mismo tratamiento que las muestras. El nitrógeno total (Nt) se evaluó por medio del método de Kjeldhal (Bremner, 1960) y el fósforo disponible (Pd) se estimó por espectrofotometría, usando el método del complejo azul de molibdato (Murphy y Riley, 1962), previa extracción con bicarbonato de Sodio (Olsen *et al.*, 1954).

Análisis bioquímico del suelo

En este trabajo se determinaron las siguientes actividades enzimáticas: deshidrogenasa, hidrólisis del diacetato de fluoresceína (DAF), β -glucosidasa, fosfatasa alcalina, y ureasa, las cuales están relacionadas al ciclo del carbono, P y N. En estudios realizados en el semiárido falconiano (Paolini *et al.*, 2010), en condiciones edafoclimáticas similares a las de este estudio, se encontró que estas enzimas fueron las que mostraron una mejor respuesta como indicadores de calidad del suelo, bajo diferentes condiciones de manejo.

La actividad de la deshidrogenasa se midió por el método del INT (iodofenil-3-nitrofenil-5-feniltetrazolio), según la metodología planteada por Camiña *et al.* (1998); la hidrólisis del DAF, a través de la determinación de la fluoresceína producida (Schnürer y Rosswall, 1982); la fosfatasa alcalina por el método de Tabatabai y Bremner (1969), mediante la determinación del P-nitrofenol producido cuando la muestra de suelo es incubada con una solución de P-nitrofenil-fosfato; se determinó la β -Glucosidasa por el método propuesto por Eivazi y Tabatabai (1988); Tabatabai (1994) y la actividad ureásica (AU) del suelo a través del método de

Kandeler y Gerber (1988), basado en la determinación del amonio liberado, cuando una muestra de suelo es incubada con urea como sustrato. Los resultados de las actividades enzimáticas son expresados con base en el peso seco, para lo cual se estimó la humedad del suelo mediante al método gravimétrico.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó un diseño en bloques al azar, seleccionando nueve árboles de cují como unidad de bloque; en cada árbol se evaluó cada condición de muestreo o tratamiento. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS 17.0 Statistics. Las diferencias entre tratamientos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de un factor, utilizando la prueba de mínima diferencia significativa. Adicionalmente se aplicó la correlación de Pearson para observar el grado de asociación entre cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físico-químicas de los suelos

En el Cuadro 1 se presentan los valores medios de pH, porcentaje de humedad (%H), carbono orgánico total (COt), Nt, Pd y clase textural en los suelos estudiados.

pH

Los suelos del área bajo la copa de cují (T1 y T2), presentaron valores de pH de 8,5 y 8,6 respectivamente (Cuadro 1), no mostrando diferencias significativas con los suelos fuera del dosel (T3; pH = 8,7). En general se trata de suelos con valores altos de pH pudiendo ser catalogados como suelos alcalinos, tal como ha sido reportado por Mogollón *et al.* (2001) y Rodríguez *et al.* (2009) en estudios realizados en la misma zona.

Carbono orgánico

Los suelos del área bajo la copa de cují (T1 y T2), presentaron niveles de CO de 2,53 y 1,72 g C kg⁻¹, respectivamente, siendo los valores de T1 mayores al de la zona constituida por el cultivo de sábila a plena exposición solar (T3), el cual fue de 1,50 g C kg⁻¹, encontrando un gradiente entre tratamientos (Cuadro 1). Esto es originado principalmente por el mayor aporte de hojarasca, el cual se acumula bajo la copa, aumentando el contenido de MO reflejado en el CO.

CUADRO 1. Características físico-químicas de los suelos (n=27).

Tratamiento	DBT	pH	%H	COt (g C kg ⁻¹)	Nt (g N kg ⁻¹)	Pd (mg P kg ⁻¹)	Clase Textural
T1	Cerca	8,5 a	27,7 a	2,53 a	0,60 a	10 a	Fa
T2	Medio	8,6 a	26,4 a	1,72 ab	0,43 ab	6 b	Fa
T3	Lejos	8,7 a	26,0 a	1,50 b	0,30 b	7 b	Fa

Las letras iguales representan similitud entre tratamientos según la prueba de mínima diferencia significativa.

Tratamiento: T1= bajo dosel a 1 m de la base del árbol; T2= bajo dosel a 3 m de la base del árbol; T3= a plena exposición.

DBT: distancia a la base del tronco; %H: porcentaje de humedad; COt: carbono orgánico total; Nt: nitrógeno total; Pd: fósforo disponible.

En la literatura se encuentran evidencias que corroboran lo encontrado en este trabajo, y que demuestran que los suelos bajo la copa de una especie leguminosa, poseen mayor contenido de CO cerca del tronco, siendo el caso contrario en las zonas desnudas o a plena exposición solar (Reyes-Reyes *et al.*, 2002; Montaña-Arias *et al.*, 2006; Perroni, 2007).

Nitrógeno total

Los suelos bajo la copa de cují (T1 y T2), presentaron valores del contenido de Nt de 0,60 y 0,43 g N kg⁻¹ de suelo, respectivamente, siendo similares entre sí. Por otra parte, los valores de T1 resultaron mayores a los de la zona constituida por el cultivo de sábila a plena exposición solar (T3), el cual fue de 0,30 g N kg⁻¹ de suelo, de manera que se asume que los contenidos de Nt varían al alejarse del tronco, siendo T1=T2, T2=T3 y T1≠T3 (Cuadro 1). Esta tendencia mostró similar comportamiento al de los niveles de CO del suelo. Es originada por el mayor aporte de MO bajo la copa del árbol, por lo que existe una correlación entre el Nt y el CO ($r = 0,52$; Cuadro 3); adicionalmente, al poseer esta zona un microclima menos estresante, se estimula la actividad microbiana y los procesos de mineralización de la MO posiblemente son llevados a cabo de una manera más efectiva, produciendo fuentes de N como es el caso del amonio.

Fósforo disponible

A 1 m del dosel (T1) los suelos presentaron niveles de contenido de Pd de 10,41 mg P kg⁻¹, siendo mayores a los de T2 (bajo dosel a 3 m de la base del árbol) y T3 (zona constituida por el cultivo de sábila a plena exposición solar), con valores de 6,40 y 6,93 mg P kg⁻¹ de suelo, respectivamente. No encontrándose diferencias significativas entre estos dos tratamientos ($P = 0,25$) siendo

T1≠T2=T3 (Cuadro 1). Esto podría estar relacionado al mayor aporte de MO debajo del dosel, la cual aporta el P orgánico al suelo, siendo transformado a inorgánico por la actividad microbiana.

Investigaciones realizadas en similar área geográfica al estudio (Rodríguez *et al.*, 2009), reportan valores de Pd de 15 mg kg⁻¹ en suelos bajo sábila con manejo orgánico, los cuales son mayores a los encontrados en suelos bajo bosque (2 mg kg⁻¹). Los resultados arrojados por dicho estudio, a pesar de no presentar unidades similares a las de este trabajo, son importantes ya que demuestran la relación entre la MO, la actividad microbiana y el P en el suelo, siendo la misma tendencia encontrada en esta investigación. Asimismo, Virginia y Jarrell (1983) evaluando las propiedades del suelo en presencia del *Proposis glandulosa* en un ecosistema del desierto sureño de Sonora, reportaron un valor de 9,6 mg P kg⁻¹ en suelos bajo la copa del árbol siendo mayor al encontrado en los límites de la copa (7,9 mg P kg⁻¹) y entre las copas de los árboles (1,5 mg P kg⁻¹); presentando la misma tendencia encontrada en este estudio.

Características bioquímicas de los suelos

Actividad de la deshidrogenasa

Los tratamientos T1 y T2 presentaron niveles de la actividad deshidrogenasa (AD) de 60,8 y 39,0 µg INTF g⁻¹ h⁻¹, respectivamente, los cuales resultaron similares estadísticamente. El valor de la AD en la zona constituida por el ensayo T3 fue de 25,7 µg INTF g⁻¹ h⁻¹, encontrándose diferencias significativas con T1 ($P=0,007$; Cuadro 2), observándose una tendencia idéntica a la del CO, debida principalmente a la influencia de la copa del árbol, lo que eleva el contenido de CO en comparación a los suelos a plena exposición solar y mejora las condiciones microclimáticas en esta zona.

Al tener el suelo mayor cantidad de MO, retiene mayor humedad (la cual también es protegida por la sombra) y nutrientes para que la actividad microbiológica sea elevada, generando valores más altos de la biomasa microbiana, por lo que existe correlación entre la AD y el CO ($r = 0,83$; Cuadro 3); de esta manera se justifican los valores más altos de la AD en T1. Paolini *et al.* (2010) evaluaron los parámetros bioquímicos en suelos de la microcuena “El Socorro-Jadacaquiva” del semiárido falconiano, reportando valores de la AD de $87,9 \mu\text{g INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ en suelos bajo vegetación nativa o densa, siendo estos superiores a los datos obtenidos para los suelos bajo cultivo de sábila ($AD = 29,5 \mu\text{g INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$); presentando la misma tendencia a los valores encontrados en este estudio.

Hidrólisis del diacetato de fluoresceína

Los suelos bajo la copa de cují (T1 y T2), presentaron niveles de la hidrólisis del DAF de $54,5$ y $28,5 \mu\text{g Fluor g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente, siendo similares entre sí. Sin embargo, la DAF en T1 resultó ser mayor al T3, el cual fue de $15,4 \mu\text{g Fluor g}^{-1} \text{h}^{-1}$, encontrándose diferencias significativas entre estos dos tratamientos ($P = 0,006$), siendo $T1=T2$, $T1 \neq T3$ y $T2=T3$ (Cuadro 2).

Esto se relaciona principalmente con el mayor aporte de MO el cual aumenta la disponibilidad de nutrientes y genera las condiciones adecuadas para una mayor actividad microbiana, encontrándose una correlación significativa entre la hidrólisis del DAF y el CO ($r = 0,82$; Cuadro 3), por lo tanto a mayor biomasa microbiana activa en estos suelos, mayor será la fluoresceína producida,

razón por la cual se observa una correlación significativa entre la AD y la hidrólisis del DAF ($r = 0,89$; Cuadro 3).

Por su parte, Paolini *et al.* (2010) reportaron un valor superior para la hidrólisis del DAF en suelos bajo vegetación densa de la microcuena “El Socorro-Jadacaquiva”, siendo éste de $82,6 \mu\text{g Fluor g}^{-1} \text{h}^{-1}$, el cual fue mayor con respecto al obtenido para suelos bajo cultivo de sábila ($DAH = 27,8 \mu\text{g Fluor g}^{-1} \text{h}^{-1}$). La misma tendencia fue reportada por Chacón *et al.* (2009) quienes evaluaron la interacción de las propiedades químicas, físicas y bioquímicas del suelo y raíces de las plantas nativas y exóticas de las zonas áridas neotropicales, específicamente en el Parque Nacional “Cerro Saroche”; encontrando un valor superior en suelos bajo árboles de cují y plantas invasoras con respecto a los suelos en áreas descubiertas, los cuales presentaron valores inferiores de la hidrólisis del DAF.

Actividad de la fosfatasa alcalina

Los suelos del área bajo la copa de cují (T1 y T2), presentaron niveles de la actividad fosfatasa alcalina (AFA) de $285,1$ y $181,4 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente, estos valores son mayores al de la zona constituida por el cultivo de sábila a plena exposición solar, el cual fue de $130,1 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{h}^{-1}$, encontrando diferencias significativas entre los tres tratamientos (Cuadro 2). Los valores superiores de AFA en los suelos bajo el dosel de cují se deben principalmente al mayor aporte de MO, cuando se trata de nutrimentos o actividad biológica del suelo, como se ha venido observando a lo largo de este estudio, encontrando una correlación significativa entre esta enzima y el CO ($r = 0,63$; Cuadro 3).

CUADRO 2. Características bioquímicas de los suelos (n=27).

Tratamiento	DBT	AD ($\mu\text{g INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	DAF ($\mu\text{g Fluor g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	AFA ($\mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	β -Gluc ($\mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	AU ($\mu\text{g NH}_4 \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$)
T1	Cerca	60,8 a	54,5 a	285,1 a	70,4 a	25,0 a
T2	Medio	39,0 ab	28,5 ab	181,4 b	29,0 b	16,6 b
T3	Lejos	25,7 b	15,4 b	130,1 c	16,5 c	9,9 b

Las letras iguales representan similitud entre tratamientos según la prueba de mínima diferencia significativa.

Tratamiento: T1= bajo dosel a 1 m de la base del árbol; T2= bajo dosel a 3 m de la base del árbol; T3= a plena exposición.

DBT: Distancia a la Base del tronco; AD: actividad deshidrogenasa; DAF: diacetato de fluoresceína; AFA: actividad fosfatasa alcalina; β -Gluc: β -Glucosidasa; AU: actividad ureásica.

CUADRO 3. Correlación entre las variables físico-químicas y bioquímicas (n = 27).

	AD ($\mu\text{g INTF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	DAF ($\mu\text{g Fluor g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	AFA ($\mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	β -gluc ($\mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	AU ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	CO	Nt	Pd	%H	pH
AD	1,00									
DAF	0,89**	1,00								
AFA	0,74**	0,75**	1,00							
β -Gluc	0,84**	0,87**	0,82**	1,00						
AU	0,71**	0,53**	0,48*	0,54**	1,00					
CO	0,83**	0,82**	0,63**	0,69**	0,56**	1,00				
Nt	0,64**	0,54**	0,59**	0,56**	0,63**	0,52**	1,00			
Pd	0,71**	0,63**	0,52**	0,62**	0,55**	0,76**	0,53**	1,00		
%H	0,41*	0,51**	0,34 N.S.	0,40*	0,21 N.S.	0,64**	0,51**	0,52**	1,00	
pH	-0,40*	-0,44*	-0,21 N.S.	-0,34 N.S.	-0,18 N.S.	-0,39*	-0,25 N.S.	-0,18 N.S.	-0,45*	1,00

* $P < 0,01$; ** $P < 0,05$; N.S. = no significativas. AD: actividad deshidrogenasa; DAF: diacetato de fluoresceína; AFA: actividad fosfatasa alcalina; β -Gluc: β -Glucosidasa; AU: actividad ureásica; CO: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; Pd: fósforo disponible; %H: porcentaje de humedad.

La fosfatasa alcalina participa en la mineralización del P orgánico (forma predominante en los suelos) a P inorgánico (forma asimilable para las plantas), lo que justifica los resultados obtenidos en este estudio, ya que en los suelos a plena exposición solar el Pd es menor en comparación a los suelos bajo la copa de cují, esto aunado a la mayor cantidad de MO en los mismos. Chacón *et al.* (2009) reportan un valor de la AFA en suelos bajo vegetación nativa (cují) de la zona árida del Parque Nacional “Cerro Saroche”, el cual fue de aproximadamente $260,0 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, muy similares a los valores presentados en este estudio.

Adicionalmente, algunas investigaciones muestran que las especies leguminosas secretan mayor cantidad de enzimas fosfatasas, en contraste con otras especies. Esto es debido probablemente al alto requerimiento de P por parte de las leguminosas en el proceso de la fijación simbiótica del N (Yadav y Tarafdar, 2001), razón que podría explicar la correlación significativa existente entre la AFA y el Pd ($r = 0,52$; Cuadro 3).

Actividad de la β -Glucosidasa

Los suelos bajo la copa de cují (T1 y T2), presentaron niveles de la actividad β -Glucosidasa de $70,4$ y $29,0 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente, siendo superiores al de la zona constituida por el cultivo de sábila a plena exposición solar, el cual fue de $16,5 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, observando diferencias significativas entre los tres tratamientos (T1>T2>T3). La actividad de la enzima β -Glucosidasa está relacionada con la actividad microbiana del suelo debido a que ésta brinda la glucosa que sirve como fuente de energía para los microorganismos del mismo, de

manera que un alto valor correspondiente a esta enzima en suelos bajo la copa de cují es debido principalmente al aporte directo de CO en estos suelos, que propicia una mayor biomasa microbiana por efecto de la disponibilidad de nutrientes y la condición microclimática, por lo tanto, existe correlación significativa entre la actividad de la β -Glucosidasa y la AD ($r = 0,84$), la hidrólisis del DAF ($r = 0,87$) y el CO ($r = 0,69$; Cuadro 3).

Paolini *et al.* (2010) quienes evaluaron parámetros bioquímicos en los suelos de la microcuenca “El Socorro -Jadacaquiva” del semiárido falconiano; reportan un nivel de la actividad β -Glucosidasa de $132,2 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en suelos bajo vegetación densa, siendo este valor notablemente superior al reportado para suelos bajo cultivo de sábila ($43,2 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), por último el menor valor se encontró en suelos bajo cultivo de melón (β -Gluc = $42,1 \mu\text{g p-NF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) siendo similar a la tendencia descrita en este estudio, donde los suelos con mayor contenido de MO poseen la actividad β -Glucosidasa más elevada.

Actividad ureásica

Los suelos bajo la copa de cují colectados a 1 m de la base del árbol (T1) presentaron niveles de la AU de $25 \mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, los cuales resultaron mayores estadísticamente a T2 y T3, con valores de $16,6 \mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y $9,8 \mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente, siendo estos dos tratamientos similares entre sí. En este sentido, se encontró la siguiente tendencia: T1>T2=T3; ($P = 0,009$). Los valores más altos de la AU en suelos bajo el dosel de cují, son debidos principalmente a un mayor contenido de CO en

estos suelos, lo que estimula la actividad microbiana del mismo para la producción de estas enzimas.

Estos resultados sugieren que hay una alta correspondencia de la AU con los valores de CO para los sitios evaluados, por lo que existe correlación significativa entre ambas variables ($r = 0,56$; Cuadro 3). Resultados similares fueron reportados por Mogollón y Martínez (2009); Mogollón y Tremont (2002); Marinari *et al.* (2000), tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas. Cookson y Lepiece (1996) y Mogollón *et al.* (2010) indican que la actividad de la ureasa en regiones áridas está asociada con los niveles más altos de la MO.

En suelos con características similares Paolini *et al.* (2010) reportan valores de $63,9 \mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en suelos bajo vegetación nativa de la microcuenca “El Socorro-Jadacaquiva” del semiárido falconiano, siendo este valor superior al de los suelos bajo cultivo de sábila el cual fue de $30,7 \mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, valor cercano al presentado en este estudio correspondiente a los suelos bajo la copa de cují, los cuales también son destinados a la producción de sábila. Mogollón *et al.* (2010) reportan valores de la AU en bosque seco tropical en la misma área de estudio del presente trabajo, de $57,2 \mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, y de $25,2 \mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para un suelo bajo cultivo de sábila.

En este sentido se puede argumentar que el cují beneficia la actividad biológica del suelo por el continuo aporte de MO y las condiciones microclimáticas que genera, estimulando el desarrollo de biomasa microbiana y por ende de enzimas como la ureasa.

CONCLUSIONES

- El cují al encontrarse ampliamente distribuido en el semiárido falconiano, y al poseer características que le permiten sobrevivir en ecosistemas con condiciones generadoras de estrés, actúa como isla de fertilidad, contribuyendo a la salud y calidad del recurso suelo al generar un aporte de MO y nutrimentos.
- La asociación del cují con otros cultivos, como es el caso de la sábila, puede ser de gran relevancia para el mantenimiento y recuperación del semiárido falconiano.
- Se observó un gradiente con relación al contenido de nutrimentos y a la actividad microbiana, de mayores a menores valores, en la medida en que aumenta la distancia desde la base del árbol hasta la zona de plena exposición solar.

- Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de CO, Pd y Nt entre los tratamientos evaluados.
- Las actividades enzimáticas pueden ser consideradas de gran valor diagnóstico dentro de las pruebas bioquímicas, puesto que debido a su alta sensibilidad, pudieron expresar los cambios en la calidad del suelo en los diferentes tratamientos evaluados.
- Se encontró una alta correlación entre las actividades enzimáticas evaluadas y los niveles de MO del suelo, demostrando la enorme importancia del CO en los ecosistemas semiáridos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda” (UNEFM) por la formación académica; al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), por brindar los recursos tecnológicos y humanos para la realización de este trabajo especial de grado.

BIBLIOGRAFÍA

- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for marking particle size analyses of soil. *Agron. J.* 54:464-465.
- Bremner, J. M. 1960. Nitrogen total. **In:** Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltan-pour, P.M., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. y Sommers, M.E. (eds.). *Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods.* ASA-SSSA, Madison, WI, 1 085-1 121 pp.
- Camiña, F., C. Trasar-Cepeda, F. Gil-Sotres and C. Léiros. 1998. Measurement of dehydrogenase activity in acid soils rich in organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 30:1 005-1 011.
- Chacón, N., I. Herrera, S. Flores, J. A. González and J. M. Nassar. 2009. Chemical, physical, and biochemical soil properties and plant roots as affected by native and exotic plants in Neotropical arid zones. *Biol. Fertil. Soils* 45:321-328.
- Cookson, P. and G. L. Lepiece. 1996. Urease enzyme activity of soils of the Batinah region of Sultanate of Oman. *Journal of Arid Environments.* 32:225-238.

- Díaz, M. 2001. Ecología experimental y ecofisiología: Bases para el uso sostenible de los recursos naturales de las zonas áridas neo-tropicales. *Interciencia*. 26:472-478.
- Eivazi, F. and M.A. Tabatabai. 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 20:601-606.
- Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP). 1990. Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. Análisis de Suelo para Diagnóstico de Fertilidad. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Escuela de Agronomía. Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. CENIAP. Maracay. (Serie D N° 26)
- García, I. 1999. Crecimiento y comportamiento ecofisiológico del *Agave cocui* y del *Sorghum bicolor* asociados a *Prosopis juliflora* en un sistema agroforestal simultaneo de la zona semiárida, Falcón. Trabajo Especial de Grado para Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Venezuela.
- Herrera, G., Y. Herrera, B. Reyes and L. Dendooven. 2007. Mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw) DC.), huisache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) and catclaw (*Mimosa biuncifera* Benth.) and their effect on dynamics of carbon and nitrogen in soils of the semi-arid highlands of Durango Mexico. *Journal of Arid Environments*. 69:583-598.
- Kandeler, E. and H. Gerber. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils*. 6:68-72.
- López, R., E. Villavicencio, M. Real, J. Ramírez y B. Murillo. 2003. Macronutrientes en suelos de desierto con potencial agrícola. *Terra Latinoamericana*. 21:333-340.
- Marinari, S., G. Masciandaro, B. Ceccanti and S. Grego. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bio Resource Tech.* 72:9-17.
- Matteucci, S., A. Colma y Y. Acosta. 1991. Potencial productivo de los cujisales en el árido falconiano (Venezuela). *Interciencia*. 16:313-321.
- Mogollón, J. P., D. Torres y A. Martínez. 2010. Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra, en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*. 22:217-222.
- Mogollón, J. P. y A. Martínez. 2009. Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de la Sierra de San Luis, estado Falcón. *Agronomía Trop.* 59(4):469-479.
- Mogollón, J. P. y O. Tremont. 2002. Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la actividad ureásica en agroecosistemas cafetaleros del estado Falcón. *Croizatia*. 3:16-25.
- Mogollón, J. P., O. Tremont y N. Rodríguez. 2001. Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Venesuelos*. 9:48-56.
- Montaño-Arias, N., R. García-Sánchez, G. Ochoa-de la Rosa y A. Monroy-Ata. 2006. Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Latinoamericana*. 24:193-205.
- Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. department of Agriculture (USDA). Circular 939, 1-19 pp.
- Paolini, J., H. Aponte y P. Atacho. 2010. Propiedades bioquímicas de suelos del semiárido venezolano. Memorias del 16th Congress of the International Soil Conservation Organization (ISCO). Santiago de Chile, Chile.
- Perroni, Y. 2007. Islas de fertilidad en un ecosistema semiárido: nutrientes en el suelo y su relación con la diversidad vegetal. Tesis para obtener el grado de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Instituto de Ecología, C. A., Veracruz, México. 100 p.
- Reyes-Reyes, G., L. Baron-Ocampo, I. Cualí-Alvarez, J. T. Frías-Hernández, V. Olalde-Portugal, L. Varela-Fregoso and L. Dendooven. 2002. C and N dynamics in soil from the central highlands of Mexico as affected by mesquite (*Prosopis* spp.) and huizache (*Acacia tortuosa*): a laboratory investigation. *App. Soil Ecol.* 19:27-34.

- Rodríguez, N. 2002. Identificación y caracterización de indicadores de sostenibilidad de los tipos de uso de la tierra en las series El Patillal y San Isidro de la Llanura de Coro, estado Falcón. Tesis de Maestría. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 101 p.
- Rodríguez, N., A. Florentino, D. Torres, H. Yendis y F. Zamora. 2009. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 26:340-361.
- Schnürer, J. and T. Rosswall. 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology* 43:1 256-1 261.
- Sims, J. R. and V. A. Haby. 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Sci.* 112:137-141.
- Tabatabai, M. A. and J. M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1:301-307.
- Tabatabai, M. A. 1994. Soil enzymes. **In:** Methods of soil analysis. Part. 2 Microbiological and biochemical properties. Mickelson S.H. y J.M. Bigham (Eds.) SSSA Book Series, No. 5, Madison, WI. 775-833 pp.
- Virginia, R. and W. Jarrel. 1983. Soil properties in a mesquite-dominated Sonoran Desert ecosystem. *Soil Sci Soc Am J.* 47:138-144.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-37.
- Yadav, R. S. and J. C. Tarafdar. 2001. Influence of organic and inorganic phosphorous supply on the maximum secretion of acid phosphatase by plants. *Biol. Fert. Soils.* 34:140-143.