

PATRONES DE ASOCIACIÓN ENTRE LA COBERTURA VEGETAL Y LA CALIDAD DEL SUELO EN EL MATORRAL COSTERO DE LA RESERVA RÍA LAGARTOS, YUCATÁN

ASSOCIATION PATTERNS BETWEEN PLANT COVER AND SOIL QUALITY OF THE
COASTAL DUNE SCRUBLAND IN RIA LAGARTOS RESERVE, YUCATAN

Jorge Leandro Leirana-Alcocer^{1*} y
Francisco Bautista-Zúñiga²

¹Cuerpo Académico de Ecología Tropical. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán, Km 15.5 carretera a Mérida, Xmatkuil, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97315.

²Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, colonia Ex-Hacienda de San José de la Huerta, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58190.

*Autor para correspondencia: jleirana@uady.mx

Fecha de recepción: 11 de noviembre de 2013 / Fecha de aceptación: 21 de mayo de 2014.

RESUMEN

La restauración ecológica de la reserva Ría Lagartos incluye la plantación de especies nativas; sin embargo, no se ha documentado con qué propiedades del ecosistema se relacionan estas especies en sus hábitats naturales. En este trabajo se describe la relación entre la cobertura vegetal y algunas propiedades del suelo del matorral de duna costera. Se muestrearon 30 cuadrantes de 4 m² cada uno; en cada cuadrante se estimó el porcentaje de cobertura por especie y porcentaje de cobertura del mantillo en el suelo (MAN), así mismo se tomó una muestra de suelo de cada uno,

y se les midió: pH, conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (DA), contenido de nitrógeno total (NT), porcentaje de materia orgánica (MO) y tono de gris (TG). Se realizaron análisis de correlación entre estas variables y la cobertura de las tres especies dominantes de arbustos: *Pithecellobium keyense*, *Bumelia retusa* y *Enriquebeltrania crenatifolia*. *P. keyense* y *B. retusa* correlacionaron con MAN; *P. keyense* además correlacionó con MO, y tuvo una tendencia a aumentar con NT; *E. crenatifolia* correlacionó con CE. Además, se observó que TG se correlacionó con casi todas las variables, excepto pH y MAN, y que NT y DA se

correlacionaron con casi todas las variables edáficas, excepto pH y CE. Los resultados obtenidos sugieren que *P. keyense* podría ser una especie mejoradora del suelo y que DA y TG son proxys fáciles y económicos de medir para evaluar la calidad del suelo en este sitio.

PALABRAS CLAVE: *Pithecellobium keyense*, Regosol calcárico, estacionalmente seco, mejoramiento del suelo, especie ingeniero.

ABSTRACT

Restoration actions in the Ría Lagartos reserve

includes planting native species; however, the relation between ecosystem properties and these species in their natural habitats has not been documented. This work describes the relation between the cover plant of the three dominant shrub species and some soil properties in the coastal dune scrubland. Thirty quadrats of 4 m² were sampled. The cover percentage of every species was recorded, as well as the litter cover on soil (LC). Soil samples were taken at each quadrat, measuring PH, electric conductivity (EC), apparent density (AD), total nitrogen content (TN), organic matter percentage (OM) and gray tone (GT). Correlation analyses were performed between those variables and the cover of the three dominant shrub species: *Pithecellobium keyense*, *Bumelia retusa* and *Enriquebeltrania crenatifolia*. *P. keyense* and *B. retusa* were correlated to LC; *P. keyense* was also correlated to OM and had a tendency to increase with N; *E. crenatifolia* was correlated to EC. In addition, it was observed that GT correlated with most all of the variables except with pH and LC; and that TN and AD were correlated with most all of the edaphic variables except with pH and CE. Results suggest that *P. keyense* could be a soil improvement species and that DA and TG are easy to measure and inexpensive proxies to evaluate soil quality in this site.

KEYWORDS: *Pithecellobium keyense*, calcareous sandy soils, seasonal drylands, soil improvement, engineer species.

INTRODUCCIÓN

La creación de reservas o áreas naturales protegidas, es una de las principales estrategias de conservación a nivel mundial, pues permite la protección simultánea de un gran número de especies, junto con sus hábitats e interacciones (CONABIO, 1995). Sin embargo, la sola creación de reservas no garantiza la conservación de los ecosistemas, se requieren acciones de manejo y restauración que permitan que los procesos naturales (ciclos biogeoquímicos, migración de especies y regeneración de la vegetación), se lleven a cabo (Harris y Hobbs, 2001).

El plan de manejo de la Reserva de la

Biósfera Ría Lagartos (RBRL) declara que uno de sus objetivos es la conservación y protección de los hábitats y especies, con énfasis en la protección de aquellas endémicas o bajo algún grado de amenaza (CONANP, 2007). Para ello, una de las prácticas a las que se recurre, consiste en la siembra de especies nativas de árboles, arbustos y palmas, en sitios en los que la vegetación ha sido fuertemente dañada. Sin embargo, para realizar una verdadera restauración ecológica, se debe recuperar no solo la estructura, sino también las funciones ecosistémicas (Tischew y col., 2010); y las del suelo están entre las más importantes (Ohsowsky y col., 2012).

La calidad del suelo (Heneghan y col., 2008; Ohsowsky y col., 2012), determina la sobrevivencia y crecimiento de las plantas

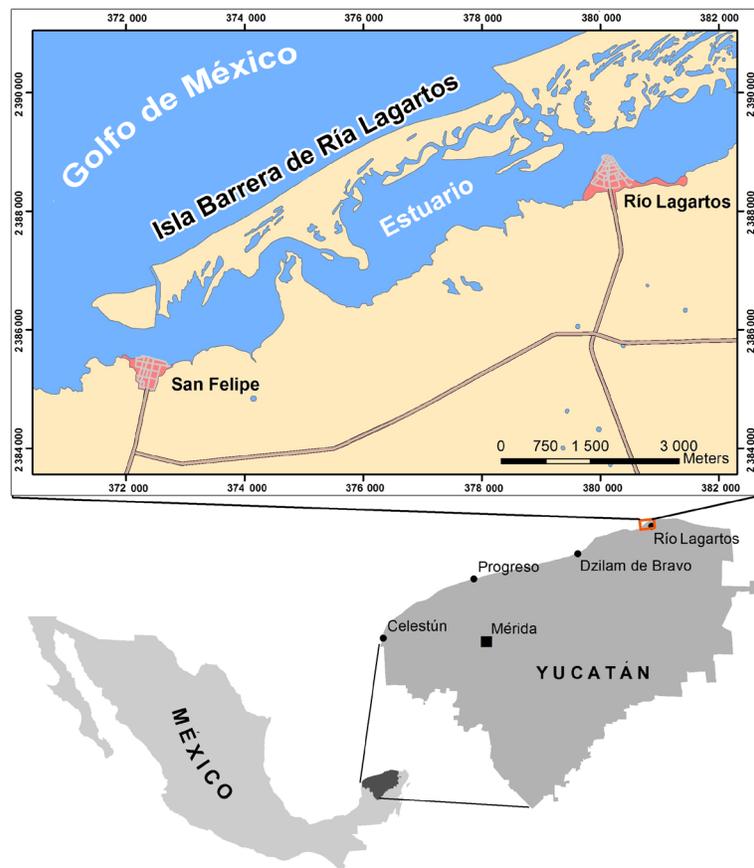
(Bonanomi y col., 2008; Ruiz y col., 2008; Hafidi y col., 2013) y la actividad de la fauna edáfica. Esto tiene efecto sobre los ciclos de materia y energía (Ayuke y col., 2011).

En zonas de baja precipitación y en suelos arenosos, existe una baja capacidad de retención del agua y nutrientes (Aguilera-Herrera, 1989; National Research Council, 2008), factores que los hacen ambientes estresantes, en los que la sucesión natural se puede ver retrasada o limitada (Walker y del Moral, 2003); por tanto, es muy importante regenerar la calidad del suelo cuando se haya perdido por la intervención humana.

Entre las funciones ecosistémicas llevadas a cabo por la vegetación se encuentra la producción de hojarasca, fijación de nitrógeno a través de las

Figura 1.

Localización del área de estudio, dentro de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos, Yucatán, México.
Figure 1. Location of the area of study at Reserva de la Biosfera Ría Lagartos in Yucatan, Mexico.



raíces, la recuperación de nutrimentos, la disminución de la evaporación del agua del suelo y la formación de microclimas menos agrestes (Heneghan y col., 2008). Debido a que cada especie puede contribuir de diferente manera con dichas funciones, se hace necesario seleccionar preferentemente aquellas que aceleran la restauración del suelo.

El objetivo de este trabajo fue describir la relación entre la cobertura de los arbustos dominantes y algunos indicadores de la calidad del suelo en el matorral costero de la RBRL. Dicha información será útil para seleccionar especies usadas en la restauración de hábitats en la reserva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se realizó al noreste del estado de Yucatán (sureste de México), dentro de los límites de la Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos, entre los poblados de Río Lagartos y las Coloradas (Figura 1). Los cuatro puntos geográficos siguientes contienen el área de estudio: 21°36'39" N, 88°03'07" W; 21°36'39" N, 88°03'02" W; 21°36'38" N, 88°03'07" W y 21°36'38" N, 88°03'02" W. El clima es cálido subhúmedo, con las principales lluvias en verano, aunque con una alta precipitación invernal. Las temperaturas anuales promedian 26 °C y recibe aproximadamente 700 mm de lluvia al año (CNA, 2000; INEGI, 2007).

Los suelos predominantes son los regosoles calcáreos, que son arenas con altos contenidos de carbonato de calcio (POETY, 2005; INEGI, 2007), cuyo origen es la acumulación de sedimentos marinos en el litoral, que son posteriormente transportados por el viento (Bautista y col., 2005). Sobre estas dunas arenosas se establecen dos tipos de vegetación; la vegetación de la duna móvil o embrionaria que crece cerca de la playa y que está sujeta a altas velocidades del viento, lo que provoca que reciba rocío salino del agua de mar y sufra un intenso movimiento del suelo; el otro tipo de vegetación es el matorral costero, en el que el suelo está relativamente estable, ya que la densa

cobertura de arbustos reduce la velocidad del viento y su distancia al mar reduce la influencia del rocío salino (Flores y Espejel, 1995).

Muestreo por transectos

Para representar la heterogeneidad del matorral costero se trazaron dos transectos de 140 m de largo, paralelos a la línea de costa. Los transectos anchos se usan con frecuencia para estimar la densidad y

cobertura relativas de las especies arbustivas (Bonham, 1989), pues representan un compromiso entre la economía del esfuerzo y la representatividad de la vegetación. Sobre cada transecto se colocaron 15 cuadrantes de 4 m² cada uno (2 m de lado), para cubrir un área acumulada de muestreo de 120 m², acorde a la usualmente utilizada para comunidades de arbustos (Stohlgren, 2007); la distancia entre cuadrantes fue de 10 m y entre transectos de 20 m.

Tabla 1.

Valores de cobertura y frecuencia relativa de las especies del matorral costero de Ría Lagartos.
Table 1. Relative cover and frequency values of the species found at the coastal dune scrubland in Ría Lagartos.

Especie	Cobertura relativa	Frecuencia relativa	Sumatoria (m ²)
<i>Pithecellobium keyense</i> (Britton ex. Coker)	25	14	39
<i>Bumelia retusa</i> (Swartz)	13	10	23
<i>Agave sisalana</i> (Perr. ex. Engelm)	8	8	16
<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i> (Miranda)	11	5	16
<i>Thrinax radiata</i> (Loddigesii)	10	6	16
<i>Acanthocereus tetragonus</i> (L.) Humm.	4	11	15
<i>Selenicereus donkelaarii</i> (Britton et Rose)	3	11	14
<i>Pseudophoenix sargentii</i> (Wendl ex Sargent)	6	5	11
<i>Metopium brownei</i> Jacq. (Urban)	5	5	10
<i>Jacquinia auriantica</i> (Bert. Ex A.D.C)	3	7	10
<i>Coccoloba uvifera</i> (L.)	5	4	9
<i>Lantana cámara</i> (L.)	2	5	7
<i>Caesalpinia vesicaria</i> (L.)	3	1	4
<i>Malvaviscus arboreus</i> (Cav.)	1	4	5
<i>Tillandsia</i> sp. (L.)	2	2	4
<i>Coccothrinax readii</i> (Quero)	0.5	1.5	2
<i>Opuntia stricta</i> (Haw.)	0.1	0.8	0.9

En cada cuadrante se estimó el porcentaje de superficie cubierta por cada especie, así mismo, se estimó el porcentaje de superficie de suelo cubierto por restos vegetales, que se denominarán en adelante mantillo.

En cada cuadrante se tomó una muestra de 100 cm³ de los primeros 5 cm de suelo utilizando cilindros de PVC de 5.08 cm de diámetro y 5 cm de largo; no se incluyó el mantillo superficial en la muestra. Las muestras de suelos se secaron a temperatura ambiente hasta peso constante, se midió densidad aparente (relación peso-volumen en g/cm³), porcentaje de materia orgánica (oxidación húmeda), contenido de nitrógeno total en mg/kg (destilación), pH de solución 1:10 por el método de potenciómetro (medidor de electrodo de gel modelo HI 9124, Hannah Instruments, Woonsocket, RI, USA) y conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductímetro modelo HI 9033, Hannah Instruments, Woonsocket, RI, USA) en una solución acuosa 1:10 (Aguilera-Herrera, 1989). Por último, se comparó el color de las muestras de suelo con la carta de escala de grises Q13 de Kodak ®; a cada muestra de suelo se le asignó un valor de escala de gris según su semejanza con el patrón correspondiente de la carta.

Análisis de datos

Para determinar cuáles fueron las especies dominantes del matorral costero se estimó la sumatoria de las frecuencias relativas y las coberturas relativas de cada especie (Flores y Álvarez-Sánchez, 2011). Asimismo, los porcentajes de cobertura de cada especie se sumaron para cada cuadrante, para estimar la cobertura total; dado que los diferentes estratos se sobreponían, la suma total de las coberturas podía ser mayor a 100 %, por lo que los porcentajes se convirtieron a metros cuadrados.

Se elaboraron histogramas descriptivos de las frecuencias de cada variable estudiada, se estimó la mediana y los valores máximos y mínimos de cada variable.

Para evaluar la relación entre la cobertura de las especies dominantes y las propiedades del suelo, se llevaron a

cabo pruebas de correlación, utilizando el paquete estadístico StatGraphics plus, y reportando las correlaciones con valores de $P < 0.05$. También se calcularon las correlaciones lineales entre las propiedades del suelo.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los valores de cobertura y frecuencias relativas de las especies encontradas en el muestreo en orden descendente. La especie dominante tanto en términos de frecuencia como de cobertura fue la leguminosa arbustiva *Pithecellobium keyense* (Coker), en segundo lugar fue la sapotácea arbustiva *Bumelia retusa* (Swartz), seguida por una agavácea rosetófila, *Agave sisalana* (Perrine) y la euforbiácea arbustiva *Enriquebeltrania crenatifolia* (Miranda).

El valor máximo de la suma de coberturas de todas las especies de cada cuadrante fue de 9 m², y el menor fue de 0.2 m², con una mediana de 3.36 m²; la mayoría de los cuadrantes tuvo entre 2 m² y 3.7 m² de cobertura vegetal (Figura 2a). Se observa que el valor máximo para la suma de coberturas fue más del doble de la superficie real del cuadrante (4 m²), lo que indica que en estos cuadrantes coexisten especies de diferentes estratos verticales y que hay una sobreposición espacial entre ellas.

En la cobertura de mantillo, la mayoría de los cuadrantes tuvieron más del 75 % de su superficie cubierta por este elemento; el valor más alto observado fue de 100 %, y el más bajo de 10 % (Figura 2b), con una mediana de 75 %. La cobertura de *P. keyense*, *B. retusa* y la cobertura total de la vegetación estuvieron correlacionadas con la cobertura de mantillo (Tabla 2).

Las muestras de suelo tuvieron densidades aparentes entre 0.8 (bajo) a 1.3 (medio), con una mediana de 1.13 g/cm³; la mayor frecuencia fue de suelos con valores de densidad de 1.1 g/cm³ a 1.2 g/cm³ (Figura 2c). La densidad aparente correlacionó negativamente con el nitrógeno total, materia orgánica y tono de gris del suelo (Tabla 2).

El nitrógeno total presentó sus valores extremos en 0.09 mg/kg y 0.53 mg/kg, con

una mediana de 0.16 mg/kg; la mayoría de las muestras presentó concentraciones menores a 0.18 mg/kg (Figura 2d).

El porcentaje de materia orgánica fue menor a 1.78 % en la mayoría de las muestras, aunque se observó que el valor máximo fue de 8.9 %, la mediana fue de 1.6 % y el mínimo de cero (Figura 2e). Como era de esperarse, la materia orgánica correlaciona positivamente con el valor del tono de gris del suelo (Tabla 2).

El valor del pH del suelo estuvo entre 7.08 (neutro) y 7.8 (medianamente básico), aunque la mayoría de los suelos presentaron valores de 7.6 a 7.7 (medianamente básico) y la mediana fue de 7.5, por lo que se considera que estos suelos son en general medianamente básicos, quizá debido a su origen calcáreo (Figura 2f).

La conductividad tuvo valores mínimos y máximos de 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (no salinos) y 4 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinos), respectivamente, con una mediana de 873 $\mu\text{S}/\text{cm}$; la mayoría de las muestras presentaron valores inferiores a los 1138 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 2g).

La cobertura de *P. keyense* se correlacionó con el contenido de materia orgánica y tuvo una tendencia a relacionarse con el nitrógeno total ($r=0.35$, $P=0.06$) (Tabla 2, Figura 3). Ni la densidad, ni el tono de gris tuvieron relación directa con la cobertura vegetal total o con la de alguna de las especies. Solamente se observó una correlación directa entre la cobertura de una especie, *E. crenatifolia*, y la conductividad eléctrica (Figura 3).

El nitrógeno total es la propiedad del suelo que se relacionó con un mayor número de otros parámetros fisicoquímicos del suelo (Tabla 2).

DISCUSIÓN

El ambiente en el área de estudio, en general, presenta condiciones consideradas adversas o estresantes para el desarrollo de la vegetación, ya que presenta baja precipitación anual (600 mm a 700 mm) y altas temperaturas (26 °C); el suelo presenta bajo contenido de nitrógeno y materia orgánica (indicadores de fertilidad) y

Figura 2.

Distribución de frecuencias de las variables estudiadas en las muestras de suelo y vegetación del matorral costero de Ría Lagartos. Se muestrearon en total 30 cuadrantes e igual muestras de suelo.

Figure 2. Frequency distribution of the studied variables in the soil and vegetation samples of the coastal dune scrubland in Ria Lagartos in Yucatan, Mexico. Thirty quadrats and soil samples were analyzed.

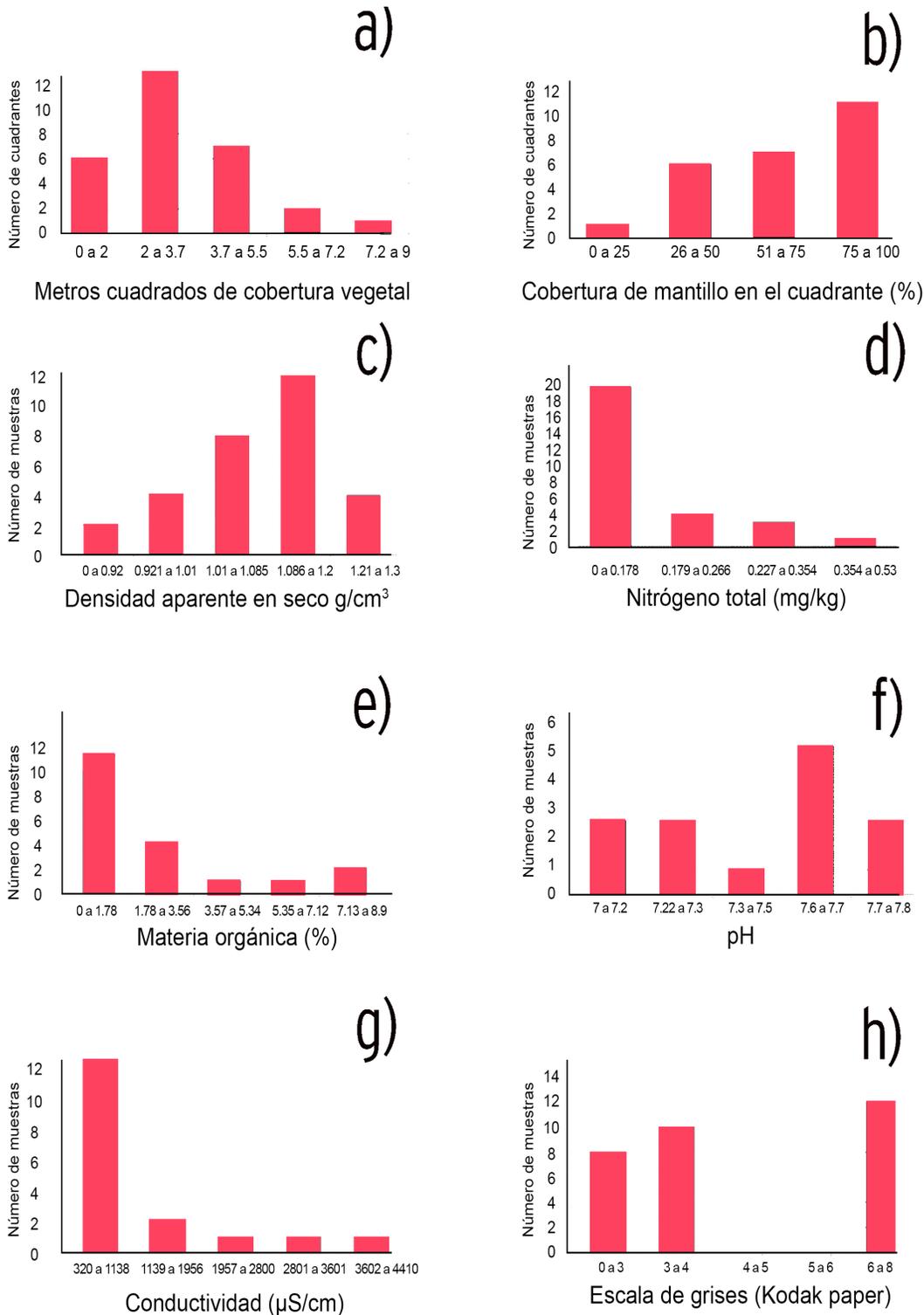


Tabla 2.

Índice de correlación de Pearson con su valor de P (paréntesis) de la cobertura de las tres especies de arbustos dominantes y algunas variables edáficas en el matorral de duna costera de Ría Lagartos, Yucatán, México.

Table 2. Pearson correlation indices and P values (parenthesis) of the cover of the three dominant shrub species and some soil properties in the coastal dune scrubland in Ría Lagartos in Yucatan, Mexico.

	<i>Bumelia retusa</i>	<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i>	Cobertura total	Mantillo (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Nitrógeno total (m/kg)	Materia orgánica (%)	pH (%)	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Tono de gris (%)
<i>Pithecellobium keyense</i>	NS	NS	0.67 (< 0.01)	0.44 (0.03)	NS	NS	0.51 (0.03)	NS	NS	NS
<i>Bumelia retusa</i>		NS	0.40 (0.03)	0.59 (< 0.01)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i>			0.44 (0.01)	NS	NS	NS	NS	NS	0.81 (< 0.001)	NS
Cobertura total (%)				0.60 (< 0.01)	NS	0.39 (0.04)	NS	NS	0.56 (0.023)	NS
Mantillo (%)					NS	0.55 (0.01)	NS	NS	NS	NS
Densidad aparente g/cm ³						- 0.44 (0.02)	- 0.75 (< 0.01)	NS	NS	- 0.80 (< 0.01)
Nitrógeno total (m/kg)							0.87 (< 0.01)	NS	NS	0.52 (< 0.01)
Materia orgánica (%)								NS	NS	0.81 (< 0.01)
pH (%)									0.6 (< 0.01)	NS
Conductividad eléctrica (μS/cm)										0.62 (0.01)

altos valores de densidad (indicador de la capacidad de aireación y retención de humedad). En estas condiciones la sucesión de la vegetación puede ser más lenta que en ambientes más favorables (Walker y del Moral, 2003), además de que este tipo de ecosistemas naturales son más vulnerables a la perturbación; especialmente a la destrucción de la cobertura vegetal (Ruiz y col., 2008).

Esto hace que la presencia de los árboles y arbustos sea importante, ya que son capaces de generar "islas de fertilidad"; que consisten en fragmentos de hábitat ricos en nutrientes, humedad y materia orgánica rodeados de una matriz en la que los suelos tienen una baja fertilidad y la cobertura vegetal es muy escasa (Tirado

y Pugnaire, 2003; Bonanomi y col., 2008; Ridolfi y col., 2008; Perroni-Ventura y col., 2010; Hafidi y col., 2013). Las especies que forman estas "islas", determinan la distribución de otras especies, entre ellas, las herbáceas, epífitas y otras especies de arbustos menos resistentes a los microhábitats abiertos (Tirado y Pugnaire, 2003; Hafidi y col., 2013).

En ambientes áridos y semiáridos, los arbustos juegan un papel determinante en el microhábitat de otras especies. Su cobertura influye en la cantidad de luz que llega al suelo, la variación térmica y la velocidad del viento en el subdosel. Esto reduce el movimiento de partículas del suelo y la velocidad de evaporación de la humedad superficial (Ridolfi y col.,

2008). Los arbustos crean micrositios seguros para la germinación de semillas y sobrevivencia de algunas especies de plántulas.

En el área de estudio, los arbustos que por su dominancia pueden estar influyendo con mayor intensidad fueron *P. keyense* y *B. retusa*. Estas especies presentan alta frecuencia y abundancia relativa, es decir, están distribuidas por todo el hábitat y tienden a ocupar una alta proporción de su superficie. Bajo el dosel de ambas especies se pueden observar densas capas de mantillo, como lo indica la correlación estadística. Además, ambas especies están correlacionadas con la cobertura total de la vegetación; estos parámetros ecológicos determinan el

microhábitat del resto de la biota (Álvarez-Sánchez y Harmon, 2003; Grant y Paschke, 2012). La correlación entre la cobertura de estas dos especies dominantes y la cobertura de la vegetación total, sugiere que ambas pueden estar influyendo en funciones ecosistémicas, tales como la productividad primaria y la herbivoría.

El aporte de hojarasca es una función muy importante de la vegetación, ya que es una de las principales fuentes de nutrientes para las capas superficiales del suelo (Swift y col., 2008; Powlson y col., 2011). Las camas de mantillo crean microhábitats para hongos, bacterias y para los invertebrados formadores de suelo como termitas y hormigas (Álvarez-Sánchez y Harmon, 2003; Ayuke y col., 2011). Cuando la cubierta de mantillo alcanza varios centímetros de profundidad, la capacidad de retener la humedad es mayor que en el suelo desnudo, creando micrositios seguros para la germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas (Aguilera-Herrera, 1989; Powlson y col., 2011; Hafidi y col., 2013).

Una cubierta densa de mantillo sirve de protección contra la erosión por acción del viento y amortigua el impacto de las gotas de agua al llover. Esto reduce la velocidad con la que los nutrientes, superficiales se lixivian (Weil y Magdoff, 2004), si bien esta protección es menos efectiva que la de la cubierta viva (Juárez-Sanz y col., 2006).

En este escenario, tanto *P. keyense* como *B. retusa* son buenos candidatos para los planes de repoblación; aunque se recomienda describir profundamente la calidad y cantidad de hojarasca que producen.

En este estudio, la cobertura de mantillo se correlacionó positivamente con el contenido de nitrógeno total del suelo. Esto se debe a que la hojarasca podría estar proporcionando nutrientes y protección mecánica al suelo. Los suelos arenosos desprotegidos pierden muy rápidamente la materia orgánica y otros nutrientes, porque sus partículas

gruesas tienen menor superficie a la que se adhieran los nutrientes (Schaeztl y Anderson, 2005).

Se encontró una asociación significativa entre el porcentaje de materia orgánica del suelo y la cobertura de *P. keyense*. A su vez, la materia orgánica tuvo una asociación significativa con el contenido de nitrógeno total, y ambas variables son consideradas indicadores de la actividad biológica del suelo (Álvarez-Sánchez y Harmon, 2003; Spargo y col., 2011). Estos resultados resaltan la importancia de *P. keyense* en este hábitat, el cual está dominado por un suelo con menos del 2 % de materia orgánica; valor que resulta muy bajo para el establecimiento de nuevas plantas (Aguilera-Herrera, 1989). Al respecto, es importante destacar, que la materia orgánica y el mantillo son importantes reservorios de carbono en el suelo, por lo que su construcción y mantenimiento se considera un servicio ambiental crítico de los ecosistemas naturales y agrícolas (National Research Council, 2008; Powlson y col., 2011; Hafidi y col., 2013). La materia orgánica y el nitrógeno total son indicadores de fertilidad del suelo que generalmente están asociados con la concentración de otros nutrientes, como el fósforo y el potasio (Chivenge y col., 2010; Spargo y col., 2011). También se consideran indicadores de la actividad microbiana y la capacidad de retención de humedad (Weil y Magdoff, 2004; Bonanomi, y col., 2008; National Research Council, 2008; Powlson y col., 2011).

No se encontró correlación entre la cobertura de las especies estudiadas y el contenido de nitrógeno del suelo, aunque se observó una asociación no significativa entre el contenido de nitrógeno y la cobertura de *P. keyense* ($r = 0.35$, $P = 0.064$, Figura 3a). Esto es interesante, ya que la escasez de nitrógeno suele ser el principal factor limitante del crecimiento de las plantas, y de la regeneración de la vegetación.

Se ha reportado que especies del género *Pithecellobium* son capaces de formar asociaciones simbióticas con

bacterias fijadoras de nitrógeno a través de su raíz (Elevitch y Wilkinson, 1995), lo que les permite colonizar exitosamente ambientes pobres en nutrientes como la duna arenosa del sitio de estudio (Flores, 2001). Se ha observado que el nitrógeno fijado en las raíces de las leguminosas es liberado al suelo, ya sea por la producción de hojarasca, la muerte y descomposición de tejido radical o por la emisión de exudados con alto contenido de este elemento (Bonanomi y col., 2008; Ruiz y col., 2008). No obstante, los datos de este trabajo solamente presentan evidencia indirecta de que *P. keyense* podría estar aportando nitrógeno al suelo. Dicha evidencia debe ser corroborada con experimentos de laboratorio e invernadero.

En el sitio de estudio se observaron densas capas de mantillo bajo el dosel de *P. keyense*; un análisis de su composición química serviría para determinar si el aumento de NT se debe a la descomposición de la hojarasca o a la protección mecánica contra la lixiviación. También sería importante analizar la variación temporal en la cantidad y calidad de la hojarasca producida por *P. keyense*.

Se percibió que a menor densidad aparente, los suelos presentaron mayor contenido de nitrógeno total, mayor porcentaje de materia orgánica e índices de grises más altos (oscuros). Esto resulta interesante porque la densidad aparente y el índice de gris son económicos y rápidos de medir; y pueden considerarse como indicadores proxy de la calidad de los suelos. Aunque no sustituyen análisis más precisos; se pueden usar para evaluar grandes cantidades de muestras con menores costos y tiempo.

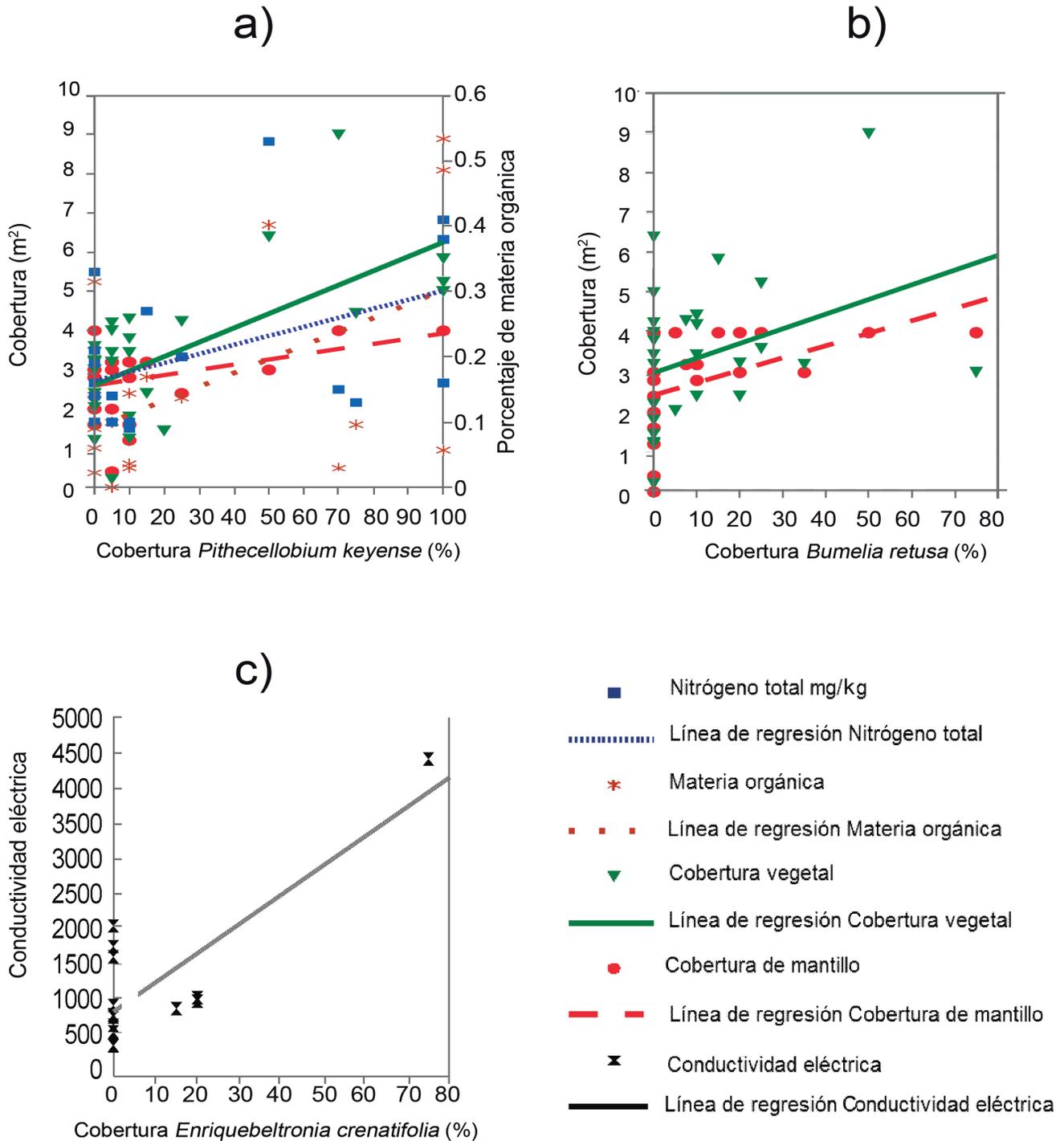
Cuando la fracción mineral del suelo es de color claro, como en este caso, la descomposición de la materia orgánica produce pigmentos que le proporcionan tonos pardos a grises oscuros (Schaeztl y Anderson, 2005). Así mismo, la presencia de materia orgánica favorece la formación de agregados, generando más espacios porosos y reduciendo la densidad aparente del suelo (Aguilera-Herrera, 1989).

Los altos valores de cobertura y frecuencia relativas de *P. keyense* y su

Figura 3.

Relación entre la cobertura de a) *Pithecellobium keyense*; b) *Bumelia retusa*; c) *Enriquebeltrania crenatifolia* y las variables estudiadas. En todos los casos $P < 0.05$, salvo en el contenido de nitrógeno total, donde $P = 0.06$. En panel a) La escala del nitrógeno total está en el eje secundario.

Figure 3. Relation between the cover of a) *Pithecellobium keyense*; b) *Bumelia retusa*; c) *Enriquebeltrania crenatifolia* and the studied variables. In all cases $P < 0.05$, except in the total nitrogen in which $P = 0.06$. In panel a) the total nitrogen scale is in the secondary axis.



correlación con algunos de los parámetros estudiados, sugieren que esta especie podría estar funcionando como ingeniero del ecosistema. Las “especies ingeniero” son aquellas que modifican la distribución espacial de los recursos y la biodiversidad, incluyendo diversas funciones ecológicas como la actividad microbiana, fotosíntesis y herbivoría (Bonanomi y col., 2008).

Cabe enfatizar que las asociaciones estadísticas no implican relaciones causa-efecto, pero sugieren la posible dirección de nuevos estudios. Es conveniente describir la interacciones ecológicas de *P. keyense* y *B. retusa* para establecer con claridad si alguna es una especie “ingeniero” o clave de su ecosistema.

La correlación entre la cobertura de *E. crenatifolia* con la conductividad eléctrica, sugiere que esta especie es halófila; lo que la hace apta para revegetar sitios en los que difícilmente

se puedan desarrollar otras especies de arbustos.

CONCLUSIONES

Por su alta frecuencia y cobertura relativas es posible que *Pithecellobium keyense* influya significativamente en las funciones ecosistémicas del matorral de duna costera. Esto se refuerza por la asociación estadística con la cobertura de mantillo, porcentaje de materia orgánica del suelo y contenido de nitrógeno total. La densidad aparente puede usarse como un indicador proxy, rápido o alternativo, para la evaluación de la calidad del suelo del matorral costero de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, ya que se correlaciona con el nitrógeno total, la materia orgánica y el tono de gris. Los suelos menos densos fueron los que presentaron valores más altos de porcentaje de materia orgánica

y contenido de nitrógeno total. El color del suelo también puede considerarse para evaluar la calidad del suelo de manera rápida, ya que correlaciona con la densidad aparente, nitrógeno total, materia orgánica, y conductividad eléctrica.■

AGRADECIMIENTOS

Parte del trabajo se financió mediante el proyecto de PROMEP “Estudio de la Biodiversidad y la Interacciones Bióticas para la Conservación y Restauración de la Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos, Yucatán”. Agradecemos a los editores y revisores por sus valiosos comentarios que hicieron este manuscrito más claro. También reconocemos encarecidamente al personal de la Reserva Especial de la Biosfera y en general de la CONANP, en Mérida, Yucatán, por su valiosa ayuda en el campo.

REFERENCIAS

- Aguilera-Herrera, N. (1989). *Tratado de edafología de México Tomo 1*. México: Ediciones de la Universidad Nacional Autónoma de México. 222 Pp.
- Álvarez-Sánchez, J. y Harmon, M. E. (2003). Descomposición de hojarasca, hojas y madera. En J. Álvarez-Sánchez y E. Naranjo-García (Eds.), *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México* (pp. 108-122). México: Ediciones de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ayuke, F. O., Brusaar, L., Vanlauwe, B., Six, J., Lelei, D. K., Kibunja, C. N., and Pulleman, M. M. (2011). Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*. 48(1): 53-62.
- Bautista, F., Palma-López, D. y Huchin, W. (2005). Actualización de la clasificación de los suelos del Estado de Yucatán. En F. Bautista y A. G. Palacio (Eds.), *Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales* (pp 105-122). México, D.F.: Publicaciones del INE.
- Bonanomi, G., Rietkerk, M., Dekker, S., and Mazzoleni, S. (2008). Islands of fertility induce co-occurring negative and positive plant-soil feedbacks promoting coexistence. *Plant Ecology*. 197(2): 207-218.
- Bonham, C. D. (1989). *Measurements for terrestrial vegetation*. Nueva York, E.E.U.U.; John Wiley Publishers. 338 Pp.
- Chivenge, P., Valauwe, P., Gentile, R., and Six, J. (2010). Organic resource quality influences short-term aggregate dynamics and soil organic carbon and nitrogen accumulation. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(3): 657-666.
- CNA, Comisión Nacional del Agua (2000). Datos meteorológicos (1970-2000). [En línea]. Disponible en: www.cna.gob.mx. Fecha de consulta: 1 de enero de 2010.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1995). *Atlas de Reservas de la Biosfera y otras Áreas Naturales Protegidas de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 314 Pp.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2007). *Programa de conservación y manejo Reserva de la Biósfera Ría Lagartos*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 266 Pp.
- Elevitch, C. and Wilkinson, K. (1995). Nitrogen fixing trees: multipurpose pioneers, en *Permaculture International Journal*. No. 56. [En línea]. Disponible en: <http://agroforestry.net/pubs/NFTs.html>. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2010.
- Flores, J. S. (2001). *Leguminosae: florística, etnobotánica y ecología. Colección Etnoflora Yucatanense Fascículo 18*. Mérida, México: Ediciones de la Universidad

- Autónoma de Yucatán. 250 Pp.
- Flores, J. S. and Álvarez-Sánchez, J. (2011). Flora y vegetación. En F. Bautista-Zuñiga, J. Palacio-Prieto, H. Delfín-González, R. Paéz-Bistrain, E. Carmona-Jiménez, M. Delgado-Carranza (Eds.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (pp. 389-414). México, D.F.:UNAM.
- Flores, J. S. and Espejel, I. (1995). *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense, Fascículo 3*. Mérida, México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. 135 Pp.
- Grant, T. and Paschke, M. W. (2012). Invasive plant impacts on soil properties, nutrient cycling, and microbial communities. En T. Monaco and R. Sheley (Eds.), *Invasive plant ecology and management, linking processes to practice* (pp 79-104). Oxford, R.U.: CAB International.
- Hafidi, M., Ouahmane, L., Thioulouse, J., Sanguin, H., Boumezzougha, A., Princ, Y., Baudoind, E., Galiana, A., and Duponnois, R. (2013). Managing Mediterranean nurse plants-mediated effects on soil microbial functions to improve rock phosphate solubilization processes and early growth of *Cupressus atlantica* G. *Ecological Engineering*. 57(1):57-64.
- Harris, J. A. and Hobbs, R. J. (2001). Clinical practice for ecosystem health: the role of ecological restoration. *Ecosystem Health*. 7(4): 195-202.
- Heneghan, L. Miller, S. P., Baer, S., Callahan, M. A., Montgomery, J., Rhoades, C. C., and Richards, S. (2008). Integrating soil ecological knowledge into restoration management. *Restoration Ecology*. 16(4): 608-617.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2007). Información geográfica por entidad federativa: Yucatán. [En línea]. Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2010.
- Juárez-Sanz, M., Sánchez-Andreu, J., and Sánchez-Sánchez, A. (2006). *Química del suelo y medio ambiente. Alicante, España: Publicaciones de la Universidad de Alicante*. 743 Pp.
- National Research Council (2008). *Emerging technologies to benefit farmers in Subsharan Africa and South Asia*. Estados Unidos de América: National Academies Press. 292 Pp.
- Ohsowski, B. M., Klironomos, J. N., Dunfield, K. E., and Hart, M. M. (2012). The potential of soil amendments for restoring severely disturbed grasslands. *Restoration Ecology*. 18(4): 467-480.
- Perroni-Ventura, Y., Montaña, C., and García-Oliva, F. (2010). Carbon-nitrogen interactions in fertility island soil from a tropical semi-arid ecosystem. *Functional Ecology*. 24(1): 233-242.
- POETY, Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Yucatán (2005). Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Yucatán: agenda ambiental. [En línea]. Disponible en: <http://www.bitacoraordenamiento.yucatan.gob.mx/>. Fecha de consulta: 1 de julio de 2010.
- Powlson, D. S., Gregory, P. J., Whalley, W. R., Quinton, J. N., Hopkins, D. W., Whitmore, W. R., Hirsch, P. R., and Gouldin, K. W. T. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*. 36 (Suplment 1): s72-s87.
- Ridolfi, L., Laio, F., and D'Odorico, P. (2008). Fertility island formation and evolution in dryland ecosystems, en *Ecology and Society*. 13(1): 5. [En línea]. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art5/>. Fecha de consulta: 1 de mayo de 2011.
- Ruiz, T. G., Zaragoza, S. R., and Cerrato, R. F. (2008). Fertility islands around *Prosopis laevigata* and *Pachycereus hollianus* in the drylands of Zapotitlán Salinas, México. *Journal of Arid Environments*. 72(7): 1202-1212.
- Schaetzl, R. and Anderson, S. (2005). *Soils: genesis and geomorphology*. Massachusetts, Estados Unidos: Oxford University Press. 827 Pp.
- Spargo, J. T., Cavigelli, M. A., Mirsky, S. B., Maul, J. E., and Meisinger, J. J. (2011). Mineralizable soil nitrogen and labile soil organic matter in diverse long term cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 90(2): 253-266.
- Stohlgren, T. J. (2007). *Measuring plant Biodiversity, lessons from the field*. Nueva York, Estados Unidos: Oxford University Press. 390 Pp.
- Swift, M. J., Bignell, D. E., Moreira, F. M. S., and Huising, J. (2008). The inventory of soil biological diversity: concepts and general guidelines. En Moreira, F. M. S., Huising, J. y Bignell, D. E. (Eds.), *A handbook of tropical soil biology: sampling and characterization of below-ground biodiversity*. Reino Unido: Earthscan. 1-16 Pp.
- Tirado, R. and Pugnaire, F. (2003). Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success. *Oecologia*. 136(2): 296-301.
- Tischew, S., Baasch, A., Conrad, M. K., and Kirmer, A. (2010). Evaluating restoration success of frequently implemented compensation measures: results and demands for control procedures. *Restoration Ecology*. 18(4): 467-480.
- Walker, L. R. and Del-Moral, R. (2003). *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Reino Unido: Cambridge University Press. 442 Pp.
- Weil, R. R. and Magdoff, F. (2004). Significance of soil organic matter to soil quality and health. En F. Magdoff y R. R. Weil (Eds), *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Estados Unidos: CRC Press. 1-42 Pp.