

RELACIÓN ENTRE LA VEGETACIÓN ARBUSTIVA, EL MEZQUITE Y EL SUELO DE UN ECOSISTEMA SEMIÁRIDO EN MÉXICO

Relationship between Shrub Vegetation, Mesquite and Soil of a Semiarid Ecosystem in Mexico

Noé Manuel Montaña-Arias^{1†}, Rosalva García-Sánchez², Genaro Ochoa-de la Rosa²
y Arcadio Monroy-Ata²

RESUMEN

Este estudio examinó la relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y las propiedades del suelo de dos matorrales semiáridos del Valle del Mezquital, México. En cada matorral (Santiago de Anaya = SA, año 2000 y González-Ortega = GO, años 2000 y 1990), se determinaron la estructura, la importancia de las especies (VI) y la diversidad (índice H') de la vegetación arbustiva. Para cada matorral, el suelo colectado bajo y fuera del dosel del mezquite se analizó física y químicamente. Se registraron un total de 36 especies, 23 géneros y ocho familias. La familia con más especies fue la Cactaceae (15 spp.) y la Leguminosae la más importante. En los tres matorrales, el mezquite tuvo mayor VI (23.7%) y cobertura. La cobertura vegetal arbustiva y la densidad de arbustos fueron mayores en SA, 2000, intermedia en GO, 1990 y se reducen considerablemente en GO 2000. La riqueza de especies en SA, 2000 y GO, 1990 fue de 29 y 27, y sólo de 11 en GO, 2000. La diversidad de especies en SA, 2000 fue mayor y no diferente de GO, 1990 ($H' = 2.5$ y 2.3 , respectivamente), pero sí de GO, 2000 ($H' = 1.3$). La similitud de especies entre matorrales sugiere que GO, 2000 perdió 66% de sus especies. En el suelo, la materia orgánica (MO) y el COS fueron mayores en los matorrales con más cobertura vegetal (SA, 2000 y GO, 1990) y menores en el de baja cobertura (GO, 2000). El mezquite aumenta el P y N, pero disminuye las concentraciones de Ca, Mg y CO_3 del suelo. Las perturbaciones en GO después de 10 años reducen

la vegetación arbustiva, la MO, el COS, el N y P del suelo, mientras que el mezquite favorece la fertilidad del suelo de estos matorrales semiáridos.

Palabras clave: fertilidad del suelo, vegetación semiárida, perturbación, Valle del Mezquital

SUMMARY

Our study examines the relationship between shrub vegetation, mesquite plants and soil properties of two tropical semiarid scrubs in the Mesquital Valley, Mexico. In each scrub population (Santiago de Anaya = SA, year 2000; Gonzalez-Ortega = GO, years 2000 and 1990) the species diversity (index H'), shrub vegetation structure, and importance value (IV) for species were determined. Soil under the mesquite canopy and outside the canopy area was sampled in the three tropical scrubs populations, and subjected to physical and chemical analyses. A total of 36 species, 23 genera, and eight families were registered. The family with more species was Cactaceae (15 spp.), while the Leguminosae was the most important. For the tropical scrubs, mesquite had the highest IV (23.7%) and cover. Shrub vegetation foliage cover and density of shrubs were high in SA, 2000, intermediate in GO, 1990, and very low in GO, 2000. The number of species in SA, 2000 y GO, 1990 was 29 and 27, and only 11 in GO, 2000. Species diversity in SA, 2000 was higher and not different from GO, 1990 ($H' = 2.5$ and 2.3 , respectively) but different from GO, 2000 ($H' = 1.3$). The similarity of species suggests that GO, 2000 has lost 66% of its species. In soil, organic matter (OM) and organic carbon (OC), levels were higher in the populations with the greater plant cover (SA, 2000 and GO, 1990) and lower in that with less vegetation (GO, 2000). Mesquite increases soil P and N levels and decreases Ca, Mg, and CO_3 concentrations. Disturbance, such as logging for 10 years in GO, 2000, reduce shrub vegetation, soil OM, OC, N, and P, while the mesquite favors soil fertility of these semiarid scrub populations.

¹ Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia. Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Col. Ex-Hda. de San José de la Huerta. 58190 Morelia, Michoacán, México.

[†] Autor responsable (nmma@ate.oikos.unam.mx)

² Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. 09230 Iztapalapa, México D. F.

Recibido: junio de 2004. Aceptado: mayo de 2005.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 193-205.

Index words: soil fertility, semiarid plants, disturbance, Mesquital Valley.

INTRODUCCIÓN

La vegetación tropical desaparece a velocidades alarmantes y México ocupa el tercer lugar entre los países donde ocurren las mayores tasas de deforestación (Velázquez *et al.*, 2001). En México, los ecosistemas áridos y semiáridos cubren más de 50% de la superficie (Toledo y Ordóñez, 1998) y su vegetación es continuamente eliminada y fragmentada. En ellos, el sobre-pastoreo, la expansión de la frontera agrícola, la ganadería y la extracción de especies útiles son las causas principales de la perturbación de la cobertura vegetal (Cavazos, 1997). Al respecto, se estima que se transforman alrededor de 50 000 ha de vegetación semiárida por año (Challenger, 1998). Sin embargo, el efecto de la perturbación sobre la diversidad y composición de especies vegetales se ha documentado poco en estos ecosistemas.

Entre las principales consecuencias de perturbar la vegetación está la degradación del suelo. Ésta se define como la pérdida de su fertilidad, resultado de un deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, producto de la desarticulación del binomio planta-suelo (Astier *et al.*, 2002). Como consecuencia, la degradación afecta el funcionamiento del ecosistema al alterar la circulación de nutrientes, la productividad primaria y el flujo y retención de agua, entre otros (Maass, 1998). La degradación del suelo en los ecosistemas semiáridos es drástica cuando se elimina la cobertura vegetal, ya que por sus características ambientales (*e.g.* prolongada sequía, alta temperatura, poca humedad y baja cobertura vegetal) son sistemas vulnerables, con un suelo sensible a perder su fertilidad y con baja posibilidad de recuperar su cubierta vegetal de forma natural. En regiones semiáridas se señala que la eliminación de la vegetación para crear zonas agrícolas incrementa la erosión y la pérdida de nutrientes del suelo (Burke *et al.*, 1995), sin embargo, en México, los trabajos al respecto son escasos.

En ecosistemas áridos y semiáridos (Huenneke, 2001), los trabajos dirigidos a explorar el efecto de la diversidad vegetal sobre las propiedades edáficas se han realizado en países como Argentina (Buschiazzo *et al.*, 2001), China (Wang *et al.*, 2001), Israel (Ward *et al.*, 2001) y España (Martínez-Mena *et al.*, 2002). En cambio, en las zonas semiáridas de México, el efecto de

la vegetación sobre el suelo se ha abordado sólo a nivel de especies vegetales, como: en mezquites, *Prosopis glandulosa* (García-Espino *et al.*, 1989) y *P. laevigata* (Frias-Hernández *et al.*, 1999); en huizache, *Acacia tortuosa* (Luna-Suárez *et al.*, 2000); y en uña de gato, *Mimosa buincifera* (Reyes-Reyes *et al.*, 2002). En México, la mayoría de los trabajos se han realizado bajo el contexto de islas de fertilidad (García-Moya y McKell, 1970). Sin embargo, ninguno de ellos explora el efecto de las especies de plantas sobre el suelo en función de los cambios que se dan en la diversidad vegetal, lo que no permite a estos trabajos discernir el papel de la especie que forma la isla de fertilidad sobre las propiedades edáficas, en relación con otras especies y en condiciones de perturbación de las comunidades vegetales.

En el Valle del Mezquital en México, el mezquite era una de las plantas con mayor presencia en el pasado; sin embargo, a pesar de su importancia ecológica y económica, en la actualidad sus poblaciones han disminuido en los ecosistemas semiáridos (Galindo y García-Moya, 1986; Golubov *et al.*, 2001). Por su riqueza florística y endemismos, la vegetación semiárida de este valle es la más importante del desierto queretano-hidalguense pero, al mismo tiempo, es fuertemente destruida por las actividades humanas de la región (Challenger, 1998). No obstante, la vegetación del valle es una de las menos estudiadas y no hay registros que detallen cambios temporales en la composición y diversidad vegetal (INEGI, 1993) y, mucho menos, que documenten el impacto de la perturbación de la vegetación sobre las propiedades del suelo. Comprender los procesos que sostienen o pueden revertir la degradación del suelo de los ecosistemas semiáridos del Valle del Mezquital es crucial en la investigación ecológica dirigida a proponer alternativas para la recuperación de los mismos. Para ello, es necesario comprender cómo la composición vegetal o las especies clave afectan las propiedades del suelo.

En el contexto antes descrito, los objetivos de este trabajo fueron: (1) documentar los cambios en la composición de la vegetación arbustiva, con especial interés en una especie dominante: el mezquite; y (2) examinar el efecto del mezquite y de la pérdida de vegetación arbustiva sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En ambos casos, se comparó el estado de conservación de la vegetación de dos matorrales y el estado actual de la vegetación de uno de ellos con respecto a 10 años antes, correspondiente a un estadio inicial o de menos perturbación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en un ecosistema semiárido del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, México. En él se ubican los matorrales: Santiago de Anaya (SA = 20° 23.84' N y 98° 58.15' O y altitud de 2103 m; GPS Magellan) y González-Ortega (GO = 20° 22.30' N y 98° 58.66' O y altitud de 2026 m), utilizados en esta investigación. Ambos matorrales no varían en pendiente ni en posición topográfica, están separados 1.2 km y se desarrollan sobre un suelo clasificado como Leptosol de acuerdo con la Base referencial mundial del recurso suelo (FAO, 1999). El clima de la región, en la clasificación de Köppen, es seco semi-cálido con régimen de lluvias en verano (García, 1978). La temperatura anual varía de 16 a 24 °C y la precipitación media anual es de 520 mm, concentrada en los meses de junio y septiembre. La vegetación, tanto en SA, como en GO, corresponde a un matorral espinoso, en el cual el mezquite arbóreo y arbustivo es dominante (Rzedowski, 1994). Las principales actividades de los pobladores son el aprovechamiento selectivo de especies útiles (agave, nopal, mezquite y otras leñosas), la transformación de los matorrales en áreas de cultivo y la ganadería caprina extensiva que somete a la vegetación a un drástico y continuo sobre-pastoreo.

Los dos matorrales seleccionados (SA y GO) presentan vegetación arbustiva similar pero con diferente grado de perturbación. En ambos, la especie dominante es el mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex. Wild) M.C. Johnst). Estos matorrales son usados por los pobladores aledaños por lo que el impacto tiende a ser aleatorio en cada sitio. En el año 2000, en ambos matorrales se muestreó la vegetación arbustiva y el suelo. Diez años antes (año 1990) en el matorral de GO la vegetación arbustiva y el suelo se muestrearon con las mismas restricciones y métodos. Esto permitió comparar, en el tiempo, el efecto de los cambios en la vegetación sobre el suelo para uno de los matorrales: GO 1990 y GO 2000, comparando, además, estos cambios con un tercer matorral: SA 2000 en un estado aparentemente mejor conservado.

Para el muestreo de la vegetación se aplicó la técnica de transectos. Los transectos, seis por matorral, tuvieron una longitud igual a 225 m² de área cubierta; se trazaron de forma equidistante (norte-sur y este-oeste) y transversal para asegurar la independencia entre ellos (Brower y Zar, 1990). Esta técnica permitió cuantificar las variables de la vegetación que sugieren el estadio de

perturbación en una comunidad vegetal de zona áridas y semiáridas (Raina y Sen, 1991).

En cada matorral, el área aproximada de muestreo fue de 2304 m² (0.23 ha) y, en ésta, se marcaron y consideraron todas las plantas que estuvieran dentro del área trazada o cuyo dosel tocara la línea con la que se marcó cada transecto. Los ejemplares recolectados se determinaron con base en los ejemplares depositados en el herbario FEZA-UNAM y en el listado florístico de Hidalgo (Villavicencio *et al.*, 1998). Se consideró como estrato arbustivo a las plantas leñosas, semi-leñosas y cactáceas, todas ellas con una altura mínima de 1 m hasta una máxima de 4 m, además de que su ramificación iniciara a no más de 5 cm del suelo. La diversidad y estructura de la vegetación arbustiva de los matorrales, incluida la población de mezquite, se describieron con base en la identidad de las especies, la altura, la cobertura del dosel (diámetro mayor y menor) y la distancia planta a planta. Las variables estructurales se determinaron directamente con una cinta métrica. La densidad (D), la cobertura (C), las frecuencias (F) y las distancias planta a planta de las especies se calcularon según Brower y Zar (1990). Con los valores relativos de D, C y F se estimó el índice de valor de importancia (IVI) por especie (Brower y Zar, 1990). La diversidad de especies se estimó por el índice de Shannon-Wiener (H') y al igual que la riqueza de especies (S); los cálculos se realizaron según lo establecido por Magurran (1988) y Krebs (1995). Los cambios en la diversidad de la vegetación arbustiva entre los matorrales y en la cronosecuencia del matorral GO fueron determinados por el índice de similitud específica de Jaccard (Magurran, 1988).

La colecta de suelo se realizó en los mismos matorrales cuya vegetación arbustiva fue previamente muestreada. El traslape de ambos muestreos permitió correlacionar los cambios en la vegetación y el suelo. Para ello, en cada matorral, los mismos transectos trazados para el muestreo de vegetación se usaron para seleccionar 10 mezquites arbustivos (con características homogéneas en altura, dosel y su no interacción con otras plantas). Se colectó el suelo bajo el dosel de los mezquites (cuatro al azar de los 10 elegidos), condición denominada: dentro de la isla de fertilidad (DIF) y suelo sin el efecto de mezquite, pero sí de otras arbustivas; condición: fuera de la isla de fertilidad (FIF), siguiendo los cuatro puntos cardinales alrededor de cada mezquite. El muestreo se realizó por el método de cuadrantes centrados en un punto (el tronco del mezquite). Para sitios DIF, el suelo se colectó a tres distancias en cada

cuadrante, esto es, cerca del tronco, al borde de la isla y en un punto intermedio entre estos dos, mientras que el suelo del sitio FIF se colectó en cuatro puntos alrededor del mezquite. El suelo colectado de cada cuadrante y alrededor de cada mezquite se mezcló para formar muestras compuestas. Las muestras totales fueron cuatro de suelo DIF y cuatro de FIF por cada matorral. La colecta se realizó en la época seca y, en todos los casos, el suelo se obtuvo de una profundidad de 0 a 10 cm (eliminando manualmente el mantillo), se almacenó en bolsas negras para llevarse al laboratorio y se refrigeró a 4 °C hasta su procesamiento.

En laboratorio, las muestras de suelo se sometieron a análisis físicos y químicos de acuerdo con el manual IRENAT (1996). Previo a los análisis, el suelo se secó al aire y se tamizó (malla de 2 mm). Las técnicas empleadas fueron: textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos; pH, con un potenciómetro en relación suelo-agua de 1:2.5 (p/v); materia orgánica (MO), por el método de Walkley y Black; y el carbono orgánico total del suelo (COS) por oxidación húmeda con dicromato de potasio seguido de su cuantificación en un fotómetro a 578 nm. Los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} se extrajeron con una solución de acetato de amonio 1N a un pH = 7 y fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica. Los carbonatos (CO_3^-) se extrajeron con agua destilada y su concentración se determinó por titulación ácida. Para el nitrógeno total (Nt), se usó el método kjeldahl; para ello, una muestra de suelo se digirió con ácido sulfúrico-salicílico y el Nt se determinó por destilación en ácido bórico y titulación con ácido sulfúrico 0.05 N. La fracción de fósforo disponible (P_i) se obtuvo con el método Olsen, usando una solución extractora de NaHCO_3 0.5 N (pH = 8.5) y una medición colorimétrica en un espectrofotómetro a 660 nm.

Para el análisis de los datos de vegetación y de suelo, los tres matorrales: SA 2000, GO 2000 y GO 1990 se trataron como localidades independientes y las condiciones DIF y FIF como sitios anidados dentro de cada localidad. Las variables asociadas a la estructura y diversidad de la vegetación se calcularon en el programa computacional denominado EstimateS Versión 6.1 (Colwell, 2000). Estos datos se sometieron posteriormente a un análisis de varianza (ANOVA) con $n = 6$, seguido de una prueba de comparación múltiple Tukey (HSD; Sokal y Rohlf 1995). Previo a este análisis, los datos se transformaron mediante el uso de logaritmos base 10 (Log_{10}) para ajustarlos a la distribución normal,

sin embargo, los promedios se reportan retransformados. Por otra parte, las diferencias entre las propiedades de los suelos de cada matorral y entre el suelo DIF del mezquite y el FIF se detectaron con la prueba de Kruskal-Wallis (K-W) para muestras independientes con $n = 4$, seguido de una comparación de medias Rank-Tests. Se usó esta prueba estadística no paramétrica debido al bajo número de réplicas y a que los datos no cumplieron los supuestos de la distribución normal, ante esta situación la prueba de K-W es más robusta (Potvin y Roff 1993; Sokal y Rohlf, 1995). En cada matorral, la relación entre las variables edáficas y las asociadas a la vegetación se exploró mediante correlaciones de Pearson (r) después de transformar los datos con Log_{10} . Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa Statistica, Versión 6.0 (StatSoft, 2000) y los promedios se consideraron diferentes con una $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura de la Vegetación Arbustiva, Composición y Diversidad

La vegetación arbustiva de los matorrales estudiados consiste de ocho familias, 23 géneros y 36 especies de plantas (Cuadro 1). La familia Cactaceae fue la más común con 15 especies, mientras que la más rara con una sola especie fue la familia Rubiaceae. El mayor valor de importancia fue para la familia Leguminosae, que representa 41.6% del total de las especies y 36.1% de importancia relativa. La mayoría de las especies registradas (78%) se distribuyen exclusiva o preferentemente en las zonas áridas y semiáridas de México (Rzedowski, 1994; Dávila *et al.*, 2002).

En el año 2000, el matorral de SA presentó mayor riqueza y diversidad de especies arbustivas que el de GO. Sin embargo, en 1990, la riqueza de especies de este último fue similar a la de SA en el año 2000, con 27 y 29 especies arbustivas, respectivamente. En contraste, en el matorral GO 2000, la riqueza se redujo a sólo 11 especies (Cuadro 1; Figura 1A). Al comparar la diversidad de especies en cada matorral en relación con la diversidad máxima, se encontró que, en GO (1990), la diversidad arbustiva no fue diferente al máximo valor esperado, mismo patrón que ocurre para SA (2000); pero que contrasta con el de GO (2000), ya que su diversidad se redujo en 48% con respecto a la diversidad máxima (Figura 1A).

Cuadro 1. Índice del valor de importancia (%) de las especies arbustivas que componen la vegetación de dos matorrales semiáridos del Valle del Mezquital: Santiago de Anaya (SA) y González-Ortega (GO) en los años 2000 y 1990.

Especies por familia	Matorrales		
	SA, 2000	GO, 1990	GO, 2000
Agavaceae			
<i>Agave atrovirens</i> Karw.	-	1.15	-
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	1.44	-	-
<i>Yucca filifera</i> Chab.	10.98	11.95	-
Asteraceae			
<i>Zaluzania augusta</i> (Lag.) Sch.Bip.	1.20	1.32	-
<i>Haplopappus venetus</i> (H.B.K.)Blake	-	4.61	3.12
<i>Eupatorium espinosarum</i> Gray	11.67	9.71	-
<i>Flourensia resinosa</i> (Brandege) Blake	21.65	16.40	-
<i>Verbesina parviflora</i> (H.B.K) Blake.	6.10	5.00	-
Cactaceae			
<i>Cylindropuntia kleine</i> D.C.	-	14.52	32.38
<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) D.C.	-	21.12	39.18
<i>Ferocactus latispinus</i> (Haw.) Br.&Rose	-	4.52	-
<i>Mammillaria magnimama</i> Haw.	3.40	3.12	-
<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart.) Console.	7.32	12.31	-
<i>Opuntia cartabrigiensis</i> Linch.	9.37	-	-
<i>Opuntia imbricata</i> (Haworth) D.C.	7.64	9.12	9.61
<i>Opuntia joconostle</i> Weber in Diguët	0.10	3.01	-
<i>Opuntia leptocaulis</i> D.C.	5.77	7.02	8.72
<i>Opuntia lindheimeri</i> Engim.	5.86	-	12.47
<i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck	7.91	16.85	-
<i>Opuntia robusta</i> Wendland.	3.13	6.75	18.50
<i>Opuntia stenopetala</i> Engelm.	8.95	-	-
<i>Opuntia streptacantha</i> Lemaire.	5.34	4.26	48.10
<i>Stenocereus marginatus</i> (D.C.) Berger ex Buxb.	-	9.35	-
Euphorbiaceae			
<i>Acalypha indica</i> Benth.	4.30	4.95	-
<i>Jatropha dioica</i> Sessé ex Cerv.	1.10	3.30	-
Leguminosae			
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	12.46	-	7.63
<i>Acacia shaffneri</i> (S. Watson.) F.J. Herm.	16.06	-	-
<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd	0.31	1.14	-
<i>Mimosa biuncifera</i> Benth.	14.77	17.07	-
<i>Mimosa depauperata</i> Benth.	9.73	18.81	-
<i>Mimosa</i> sp.	-	6.50	-
<i>Prosopis laevigata</i> Humb. & Bonpl. Ex. Wild M.C. Johnst	37.12	71.11	104.58
Rhamnaceae			
<i>Condalia mexicana</i> Schlechter	17.64	21.81	16.91
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Roemet. et Schult) Succ.	38.53	-	-
Rubiaceae			
<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schlecht	21.17	-	-
Verbenaceae			
<i>Citharexylum brachyanthum</i> A. Gray	10.18	-	-
Número total de especies	29	27	11

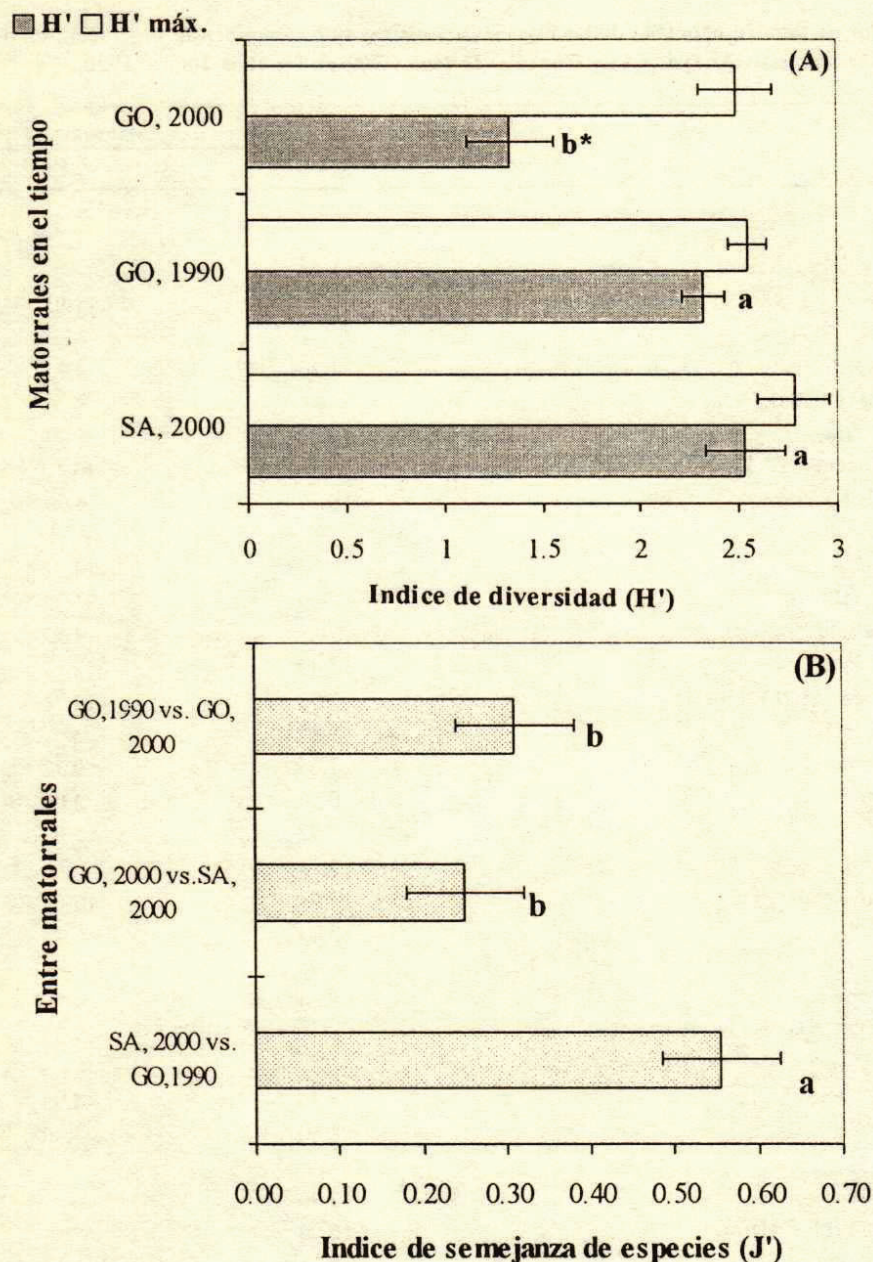


Figura 1. Cambios en la diversidad (A) y semejanza (B) de especies arbustivas de dos matorrales (SA = Santiago de Anaya año 2000 y GO = González-Ortega: año 2000 vs. 1990) semiáridos del Valle del Mezquital. Letras iguales muestran no diferencias estadísticas significativas con Tukey (HSD) $P > 0.05$, mientras que el * indica diferencias ($P = 0.002$) entre los índices de diversidad (H') y los de diversidad máxima (H' máx.).

La composición de especies arbustivas de GO en 1990 fue en 58% semejante a la de SA en 2000. Sin embargo, para el año 2000, la semejanza entre estos dos matorrales fue de sólo 27%, lo que sugiere que, para este año, la composición de GO disminuyó 31% en relación con la de SA (2000) y que el matorral de GO perdió en 66% sus especies originales (Figura 1B). Las especies compartidas por los matorrales y las exclusivas de cada uno se presentan en el Cuadro 1.

Al analizar la estructura de la vegetación del matorral GO en el año 2000, se encontró que la cobertura y la densidad de la vegetación arbustiva fueron significativamente menores que las que presentaba en 1990. Éstas disminuyeron 53% y 38%, respectivamente. El mismo patrón ocurre al comparar la estructura vegetal de GO en el 2000 con la de SA para el mismo año; en este caso, la cobertura disminuyó 61% y la densidad de individuos 48% (Cuadro 2). No obstante que la altura

Cuadro 2. Atributos estructurales de la vegetación arbustiva de dos matorrales semiáridos del Valle del Mezquital y cambios estructurales para uno de ellos (GO) después de 10 años.

Características estructurales	Matorrales / tiempo		
	SA, 2000 [†]	GO, 1990 [†]	GO, 2000
Cobertura (m ² ha ⁻¹)	438 (22) a [§]	371 (38) b	175 (17) c
Densidad (ind. ha ⁻¹)	480 (33) a	410 (39) a	246 (34) c
Altura (m)	2.3 (0.3) a	2.6 (0.3) a	2.0 (0.2) a
Distancia planta-planta (m)	1.6 (0.8) c	3.6 (0.4) b	5.9 (1.1) a

[†] SA = Santiago de Anaya, [†] GO = González-Ortega.

[§] Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los promedios (\pm error estándar) con $P \leq 0.05$ (Tukey HSD).

de las plantas no presentó cambios, la cobertura total de las especies sí fue diferente, lo que indica mayor área de suelo sin el efecto de una planta arbustiva y expuesta a erosión y evaporación, lo que podría afectar la disponibilidad de nutrimentos y agua en el suelo. Esto se apoya, además, en que la distancia entre una y otra planta fue cinco veces mayor en GO para el año 2000 que la que presentaba este mismo matorral en 1990 y el matorral de referencia (SA, año 2000), sugiriendo que la fragmentación de la cubierta vegetal incrementó (Cuadro 2).

Estructura de la Población Arbustiva de Mezquite (*Prosopis laevigata*)

En los matorrales estudiados, el mezquite es la especie dominante (Cuadro 3) y de mayor valor de importancia, valor que aumenta cuando hay menos riqueza de especies (Cuadro 1). El alto valor de importancia del mezquite, aun en el matorral más perturbado, apoya dos hipótesis: (1) *P. laevigata* debió ser la especie dominante en el Valle del Mezquital (Cruz *et al.*, 1997; Challenger, 1998), una posible especie clave en el funcionamiento de los matorrales con menos cobertura vegetal y, probablemente, la más resistente a efectos de perturbación; y (2) por sus múltiples usos

(Golubov *et al.*, 2001) *P. laevigata* es conservada selectivamente por las poblaciones humanas aledañas que manejan estos matorrales. No obstante, ambas hipótesis requieren de investigación en esta región del Mezquital.

En relación con SA (2000) y GO (1990), la estructura de la población de mezquite en el matorral GO (2000) presentó diferencias considerables. En SA, los individuos de mezquite son más altos y con un dosel más amplio que cubre el doble de área de suelo que los mezquites de GO. Los mezquites en GO tienen menor tamaño, cubren 41% menos área de suelo, tienen 28.6% menos individuos y la distancia entre un mezquite y otro es 1.6 veces mayor, separándose hasta 19 m en promedio (Cuadro 3). Estos datos indican que el matorral de GO tiene más suelo descubierto, cuya protección depende del resto del estrato arbustivo que es más disperso y menos diverso. Además, los parámetros estructurales de mezquite detectados después de una década en GO sugieren a esta especie como indicadora de los cambios en la cubierta vegetal en matorrales espinosos similares. Por ejemplo, con respecto a GO 1990, el matorral de GO 2000 presentó una significativa disminución de la cobertura y densidad de mezquites y un incremento de la distancia entre plantas (Cuadro 3), lo que sugiere la posibilidad de que los procesos de perturbación dirijan a los matorrales como

Cuadro 3. Atributos estructurales de la población arbustiva de mezquite (*Prosopis laevigata*) de dos matorrales semiáridos del Valle del Mezquital y cambios estructurales de la población de uno de ellos (GO) después de 10 años.

Matorrales [†] / tiempo	Mezquite			
	Cobertura m ² ha ⁻¹	Densidad ind. ha ⁻¹	Altura m	Distancia mezquite-mezquite m
SA, 2000	262 (18) a [†]	325 (21) a	2.9 (0.1) a	11.1 (3) a
GO, 1990	274 (24) a	242 (35) b	2.1 (0.2) b	8.4 (3) a
GO, 2000	127 (14) b	122 (43) c	2.4 (0.2) b	19.3 (2) b

[†] SA = Santiago de Anaya, GO = González-Ortega.

[†] Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los promedios (\pm error estándar) con $P \leq 0.05$ (Tukey HSD).

el de SA hacia la condición que prevalece en el matorral de GO.

Las diferencias en estructura y diversidad de la vegetación arbustiva entre matorrales revela un gradiente de perturbación de menor a mayor, que indica a los matorrales en el siguiente orden: SA 2000- GO 1990- GO 2000. Esta situación contrastante permitió comparar el efecto de la perturbación de la vegetación y destacar el papel del mezquite sobre las propiedades del suelo, lo cual se analiza a continuación.

Propiedades del Suelo Bajo Distinta Cobertura Vegetal y Bajo el Efecto del Mezquite

Las propiedades de los suelos bajo el dosel del mezquite (DIF) fueron diferentes de las del suelo sin la influencia de este arbusto (FIF), lo que indica, en ambos matorrales y en ambas fechas, un efecto importante del mezquite sobre las propiedades del suelo (Figura 2). Por su parte, los cambios en las propiedades del suelo FIF están asociados a la vegetación arbustiva distinta al mezquite (Cuadro 1), ya que este suelo se colectó al azar sin considerar la presencia o no de una arbustiva. La textura franco-arcillosa no cambió en 10 años y fue la misma en ambos matorrales, aunque presentó una tendencia ligeramente arenosa en los suelos FIF (arenas (%): DIF = 27 vs. FIF = 34; promedio para ambos matorrales). Esta tendencia es apoyada por García-Espino *et al.* (1989) quienes sí encontraron un efecto del mezquite sobre la textura del suelo. La tendencia no significativa encontrada en este trabajo puede estar asociada al tipo de plantas arbustivas que existen en el suelo FIF o al tiempo en que ocurrió la perturbación. Al respecto, se documenta que la textura del suelo puede modificarse en función del régimen de perturbación acelerando los cambios que pueden ocurrir de manera natural en 50 ó 100 años (Brady y Weil, 2002).

Para el año 2000, la materia orgánica (MO) y el carbono orgánico (COS) en el suelo del matorral GO disminuyeron con relación a los valores que había en 1990 y a los del suelo del matorral SA, cuyos valores son más cercanos a los que presentaba GO en 1990 (Figuras 2A y 2B). La baja cantidad de MO y COS en GO 2000 es el resultado de la limitada presencia de vegetación arbustiva. No obstante, tanto en los matorrales más conservados, como en el perturbado, el mezquite favorece la MO y el COS e indica la trascendencia del dosel de esta especie en mantener la cantidad de carbono en el suelo (Figuras 2A y 2B). En los matorrales,

el mezquite y las condiciones favorables para otras plantas bajo su dosel (Cruz *et al.*, 1997) aumentan la MO (53%) y el COS (77%) en el suelo. Este efecto del mezquite sobre la MO y el COS fue documentado antes por Barth y Klemmedson (1982), cuyo trabajo apoya estos resultados.

Las concentraciones de nutrimentos en el suelo responden también a los cambios en la vegetación y a la presencia del mezquite. El P disponible (P_i) y el N total (Nt) son tres y ocho veces mayores, respectivamente, en el suelo asociado al mezquite. Este resultado puede deberse al aporte de estos nutrimentos a partir de la descomposición de la MO y, en el caso del N, a la posible fijación biológica de N_2 por parte de esta leguminosa. Sin la presencia del mezquite, el P_i y el Nt en el suelo del matorral GO (1990) no cambiaron con relación a los de GO (2000); sin embargo, éstos son menores con respecto a los de SA. El mismo patrón ocurre para el P_i del suelo asociado al mezquite, pero la cantidad es mayor en el suelo de SA. En contraste, el valor de Nt en el suelo de GO 1990 era similar al de SA en el 2000, pero para el año 2000, el Nt disminuyó ocho veces en el suelo de GO (Figuras 2C y 2D).

La concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} y de CO_3^{2-} en el suelo es afectada por el mezquite de forma contraria al patrón descrito para el P_i y el Nt; aunque es ligeramente favorecida por el mezquite en el matorral con menos diversidad y cobertura vegetal (GO 2000; Figuras 2E, 2F y 2G). Las cantidades de Ca^{2+} , Mg^{2+} y de CO_3^{2-} en el suelo bajo o fuera del dosel del mezquite en el matorral GO (1990) no difieren de los del suelo de SA (2000), pero sí de los presentes en el suelo de GO en el 2000. En el suelo sin mezquite, las concentraciones aumentaron 42% para Ca^{2+} , 16% para Mg^{2+} y 56% para CO_3^{2-} , con relación al suelo bajo el mezquite. Asimismo, el pH del suelo sin mezquite, con más cationes y carbonatos, fue más básico en el matorral de GO en el año 2000 (Figura 2H). Por otra parte, el mezquite parece reducir las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y CO_3^{2-} , y mantener un pH menos básico, ya que sugiere valores de pH en el intervalo de $7.0 \leq pH \leq 7.4$, lo que podría repercutir sobre los procesos microbianos y el sistema geoquímico, cuya consecuencia se relaciona con la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, entre ellos la del P_i (Paul y Clark, 1989).

Por lo anterior, el suelo de los matorrales con el estrato arbustivo más conservado (SA y GO, 1990) y con la presencia de mezquite, estaría dominado por procesos microbianos y por una mayor disponibilidad

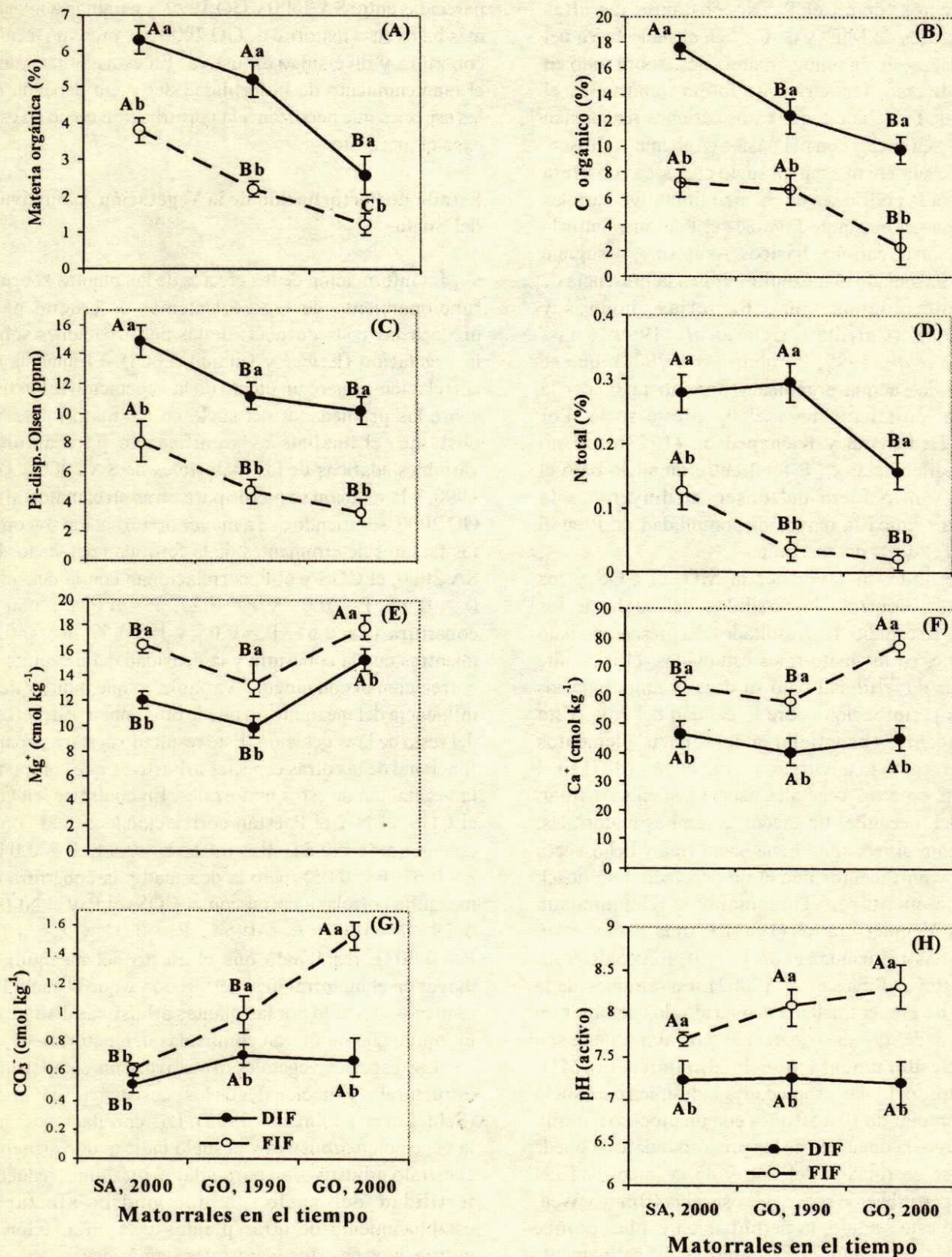


Figura 2. Materia orgánica y nutrientes en el suelo asociado al mezquite (DIF) y no asociado (FIF) de dos matorrales semiáridos del Valle del Mezquital con diferente cobertura y composición de especies. Letras distintas indican diferencias significativas a P ≤ 0.05 (Comparación de medias Rank-Test); las letras mayúsculas las indican entre matorrales en el tiempo y las minúsculas entre suelos DIF y FIF.

de nutrimentos, como el P_i . No obstante, las altas concentraciones de Mg^{2+} y de Ca^{2+} en el suelo fuera del dosel del mezquite en ambos matorrales, sobre todo en el menos diverso, reducirán, de forma importante, el contenido de P_i debido a que estos cationes reaccionan con los PO_4^- en suelos con pH básico (Agbenin y Tiessen, 1994). Esto sugiere que, en un suelo con poca cobertura arbustiva, el P_i podría ser un recurso limitativo para las plantas y que el mezquite favorece el P_i al disminuir la concentración de cationes básicos. Asimismo, se sugiere que el COS asociado al mezquite explica la presencia de grupos microbianos como bacterias, hongos y actinomicetos (Carrillo-García *et al.*, 1999; Frías-Hernández *et al.*, 1999; Purohit *et al.*, 2002), que se benefician de energía orgánica y podrían favorecer la mineralización microbiana y el P_i en este suelo. Por ejemplo, Tiedemann y Klemmedson (1973b), al no encontrar diferencias en P total entre un suelo bajo el mezquite y otro fuera del dosel, atribuyeron a la microbiota edáfica la mayor disponibilidad de P en el suelo bajo el dosel del mezquite.

El mezquite, al favorecer la MO, el COS y los nutrimentos, controla la fertilidad del suelo de los matorrales en estudio. Los resultados del presente trabajo indican que, en los matorrales estudiados, el mezquite forma islas de fertilidad bajo su dosel y amortigua los efectos de perturbación sobre la calidad del sitio. Esto podría, además, beneficiar a los demás elementos arbustivos, como lo advirtieron Cruz *et al.* (1997) en el caso de las especies vegetales asociadas, en particular, al dosel del mezquite. En efecto, en ambos matorrales, el suelo bajo el mezquite tiene hasta tres y ocho veces más MO y nutrimentos que el no asociado a su dosel, como documentaron Tiedemann y Klemmedson (1973a,b), Virginia y Jarrell (1983), García-Espino *et al.* (1989), Frías-Hernández *et al.* (1999), Reynolds *et al.* (1999) y Reyes-Reyes *et al.* (2002). En términos de la dinámica de este ecosistema semiárido, los cambios en las propiedades del suelo asociado o no al mezquite son lentos. Se documenta que la dinámica de MO, nutrimentos, pH y las propiedades hidráulicas del suelo pueden cambiar de 10 a 50 años con un proceso natural. Sin embargo, la dinámica de los procesos edáficos puede aumentarse en función del tipo y de la intensidad del manejo o perturbación sobre el ecosistema (Brady y Weil, 2002). En este sentido, la perturbación explica porque la fertilidad del suelo FIF cambió significativamente después de una década en GO. Por ejemplo, las concentraciones de COS, MO y nutrimentos fueron más

parecidas entre SA 2000 y GO 1990, y cambian a niveles más bajos en el matorral de GO 2000 que presentó menos cobertura y diversidad arbustiva. En estas situaciones, el mantenimiento de la fertilidad del suelo depende de las especies que persisten a la perturbación como en este caso el mezquite.

Estado de Perturbación de la Vegetación Arbustiva y del Suelo

La información de los efectos de las plantas sobre el funcionamiento de los ecosistemas es crucial para predecir las consecuencias de las perturbaciones sobre la vegetación (Eviner y Chapin, 2003). El análisis de correlación sugiere un efecto de la vegetación arbustiva sobre las propiedades del suelo en los matorrales. No obstante, el análisis es significativo para algunas variables edáficas de los matorrales de SA 2000 y GO 1990, y la relación se pierde para otras en el matorral de GO 2000, sugiriendo que a mayor perturbación son otros los factores determinantes de la fertilidad del suelo. En SA 2000, el COS y el P_i correlacionan con la densidad ($r = 0.67$, $P = 0.01$ y $r = 0.27$, $P = 0.03$) y con la cobertura ($r = 0.51$, $P = 0.05$ y $r = 0.57$, $P = 0.02$), mientras que la cobertura y la densidad del mezquite no correlacionan con ninguna variable, lo que indica que la influencia del mezquite no puede diferenciarse del efecto del resto de la vegetación. Este resultado destaca el papel funcional de las otras especies arbustivas que componen la vegetación de estos matorrales. En contraste, en GO, el COS, el N y el P_i están correlacionados sólo con la cobertura ($r = 0.31$, $P = 0.01$; $r = 0.44$, $P = 0.04$ y $r = 0.62$, $P = 0.05$), pero la densidad y la cobertura del mezquite correlacionaron con el COS, el P_i y el Nt ($r = 0.79$, $P = 0.01$; $r = -0.54$, $P = 0.01$ y $r = 0.65$, $P = 0.002$), resaltando que el efecto del mezquite es mayor en el matorral más perturbado y que el suelo FIF es menos afectado por las plantas arbustivas distintas al mezquite que no fueron eliminadas del matorral.

Las especies vegetales arbustivas son componentes estructurales y funcionales de los ecosistemas semiáridos (Schlesinger y Pilmanis, 1998). Las correlaciones entre la vegetación arbustiva y el suelo indican que disminuir el estrato arbustivo, en particular el mezquite, reduce la fertilidad del suelo, lo que podría afectar el establecimiento de otras plantas y la circulación de nutrimentos en estos matorrales semiáridos.

De acuerdo con Raina y Sen (1991), este estudio revela que el matorral de SA (2000) tiene una vegetación

arbustiva más conservada que la de GO (2000). En SA, especies como *Prosopis laevigata*, *Kaarwinskia humboldiana*, *Cylindropuntia imbricata*, *Mimosa biuncifera* y *Bouvardia ternifolia* son características de los matorrales espinosos más conservados en el Valle del Mezquital (Villavicencio *et al.*, 1998). En cambio, en el matorral de GO (1990) existen algunas especies, como *Cylindropuntia kleine*, y *Opuntia lindhelmeri*, que son indicadoras de perturbación (Cuadro 1). Esto indica que el matorral de SA (2000) tiene un mejor estado de conservación. Además, los cambios registrados para el matorral de GO entre los años 1990 y 2000 sugieren severas perturbaciones que fragmentaron la vegetación y redujeron la riqueza biológica y la fertilidad del suelo. Aunque no hay un registro histórico del tipo de disturbios que ocurrieron en esa década, el cambio en la vegetación arbustiva sugiere que muchas de las especies pudieron ser usadas por las comunidades aledañas, o bien, eliminadas de los matorrales con el fin de transformarlos a zonas agrícolas y potreros. La extracción de especies útiles y maderas, la ganadería caprina y la agricultura de subsistencia son los principales factores que han impactado extensas áreas de vegetación semiárida en los últimos años (Cavazos, 1997; Challenger, 1998). El alto valor de importancia del mezquite en el matorral más perturbado podría explicarse por sus múltiples usos (comestibles, sombra para el ganado, etc.) que lo hacen una planta que logra permanecer, quizás por ser seleccionada por los pobladores de la región, como ocurre en otras zonas de México (Golubov *et al.*, 2001). Ante los escenarios de perturbación, el mezquite funciona, en ambos matorrales, como "bomba extractora" que incrementa la fertilidad del suelo y cuya función es esencial cuando la perturbación del resto de la comunidad vegetal es alta.

CONCLUSIONES

- Las características contrastantes de la estructura vegetal y su efecto sobre las propiedades edáficas, sugieren que los cambios en las características fisonómicas de composición, densidad y diversidad del estrato arbustivo están relacionadas con cambios en la calidad y fertilidad del suelo. Asimismo, los matorrales en estudio presentan condiciones ecológicamente diferentes y sugieren que para el 2000 el suelo de González-Ortega presenta una mayor degradación que 10 años antes. Cuando la perturbación de la vegetación es alta, el mezquite y las especies arbustivas de mayor valor de importancia son

claves en la estructura de las comunidades vegetales y, debido a sus atributos biológicos y ecológicos, juegan un papel esencial en el mantenimiento de la fertilidad del suelo de los matorrales.

- La presencia de islas de fertilidad de mezquite en los matorrales es de gran relevancia cuando la perturbación de la vegetación produce deficiencias de nutrimentos en el suelo y para la conservación de la calidad de sitio. El dosel del mezquite arbustivo favorece la acumulación de MO, COS, P_i y N total, y disminuye las concentraciones de Mg^{2+} y Ca^{2+} , lo que permite suponer que estas condiciones podrían beneficiar a otras especies vegetales, así como a la biomasa microbiana y jugar un papel importante para el almacén y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. Un estudio detallado de procesos biogeoquímicos es necesario para probar esta hipótesis.

- Esta investigación puntualiza la importancia de preservar la cobertura vegetal arbustiva y sugiere que las posibles prácticas de rehabilitación pueden promoverse usando a las islas de fertilidad generadas por el mezquite como una herramienta en la recuperación ecológica de la vegetación de estos ecosistemas semiáridos. Esto puede lograrse, ya que los suelos asociados al mezquite permiten mantener los reservorios de COS y nutrimentos disponibles que son necesarios en la nutrición de las plantas y para el funcionamiento de este tipo de ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el programa PAPIIT-DGAPA (IN 212598) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Los autores agradecen a Gustavo Pérez-Ortiz, Edna Barragán, Roberto Tufiño y Fabiola Morales su ayuda en el trabajo de campo y laboratorio, a Víctor Ordaz-Chaparro (Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo) el apoyo para el análisis químico del suelo, y a Raúl Ahedo y Heberto Ferreira el apoyo técnico. Este manuscrito se mejoró sustancialmente gracias a los excelentes comentarios de dos revisores anónimos, del editor técnico y de las doctoras Pilar Ortega (Instituto de Geología-UNAM) y Sara Lucía Camargo (UAM-Iztapalapa). N.M. Montaña agradece a la Fundación Telmex la beca otorgada para la investigación, a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) de la UNAM y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, beca 163199) el apoyo económico para realizar este artículo; así como a Verónica Quiroz-García por la discusión de las ideas y a

Hilda Isela Medrano por la oportunidad de revisar su tesis y proporcionar ideas para la elaboración de este artículo.

LITERATURA CITADA

- Agbenin, J. O. y H. Tiessen. 1994. Phosphorus transformations in a toposequence of Lithosols and Cambisols from semi-arid northeastern Brazil. *Geoderma* 62: 345-362.
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Barth, R. C. y J. O. Klemmedson. 1982. Amount and distribution of dry matter, nitrogen and organic carbon in soil-plant systems of mesquite and palo verde. *J. Range Manage.* 35: 412-418.
- Brady, N. C. y R. R. Weil. 2002. The nature and properties of soils. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Brower, J. E., J. H. Zar y C. N. von Ende. 1990. Field and laboratory methods for general ecology. Brown. Dubuque, IA, USA.
- Burke, I. C., W. K. Lauenroth y D. P. Coffin. 1995. Soil organic matter recovery in semiarid grasslands: implications for the conservation reserve program. *Ecol. App.* 5(3): 793-801.
- Buschiazzo, D. E., G. G. Hevia, E. N. Hepper, A. Urioste, A. A. Bono y F. Babinec. 2001. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. *J. Arid Environ.* 48: 501-508.
- Carrillo-García, Á., J. L. León de la Luz, Y. Bashan y G. J. Bethlenfalvay. 1999. Nurse plants mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran desert. *Restoration Ecol.* 7: 321-335.
- Cavazos, D. R. 1997. Uso múltiple de los matorrales en el norte de México. *Ciencia Forestal en México* 22(81): 3-26.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para la Biodiversidad-Instituto de Biología UNAM-Agrupación Sierra Madre. México, D. F.
- Colwell, R. K. 2000. EstimateS V6.01b1. Statistical estimation of species richness and shared species from samples. <http://viceroy.ceb.uconn.edu/estimates>.
- Cruz, J. A., E. García-Moya, J. T. Frías-Hernández, G. Montesinos y J. L. Flores. 1997. Influencia de los mezquites en la composición y cobertura de la vegetación herbácea de un matorral semiárido del Norte de Guanajuato. *Bol. Soc. Bot. (México)* 61: 21-30.
- Dávila, P., M. C. Arizmendi, A. Valiente-Banuet, J. L. Villaseñor, A. Casas y R. Lira. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conserv.* 11: 421-442.
- Eviner, V. T. y F. S. Chapin III. 2003. Functional matrix: a conceptual framework for predicting multiple plant effects on ecosystem processes. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34: 455-485.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1999. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Sociedad Internacional de las Ciencias del suelo, Centro Internacional de Referencia e Información en suelos y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italy.
- Frías-Hernández, J. T., A. L. Aguilar-Ledezma, A. J. Balderas, G. Gutiérrez-Juárez, J. J. Alvarado-Gil, J. J. Castro, H. Vargas, A. Albores y L. Dendooven. 1999. Soil characteristics in semiarid highlands of central Mexico as affected by mesquite trees (*Prosopis laevigata*). *Arid Soil Res. Rehabilitation* 13: 305-312.
- Galindo, A. S. y E. García-Moya. 1986. Usos del mezquite (*Prosopis l.*) en el Altiplano Potosino. *Agrociencia* 63: 7-15.
- García, E. 1978. Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. 2ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- García-Espino, G., J. R. Reynaga, J. G. Medina y R. Jasso. 1989. Características físicas y químicas de suelos de islas de fertilidad y áreas adyacentes de mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.) en un matorral mediano espinoso en el norte de Coahuila. *Agraria Rev. Científica UAAAN* 5: 38-47.
- García-Moya, E. y C. M. McKell. 1970. Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology* 51: 81-88.
- Golubov, J., M. C. Mandujano y L. E. Eguiarte. 2001. The paradox of mesquites (*Prosopis* spp.): invading species or biodiversity enhancers? *Bpl. Soc. Bot. (México)* 69: 23-30.
- Huenneke, L. F. 2001. Deserts. pp. 201-222. *In:* Sala, O. E., F. S. Chapin y E. Huber-Sannwald. Global biodiversity in a changing environment: scenarios for the 21st Century. Springer-Verlag. New York, NY, USA.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1993. Carta de vegetación del estado de Hidalgo. Escala 1:250 000. México, D. F.
- IRENAT-Colegio de Postgraduados. 1996. Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas. Programa de calidad e inter-calibración de análisis de suelos y plantas. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
- Krebs, C. J. 1995. Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Harper & Row. New York, NY, USA.
- Luna-Suárez, S., J. T. Frías-Hernández, V. Olalde-Portugal y L. Dendooven. 2000. Catclaw (*Mimosa buinifera*): a pest or a means to restore soil fertility in heavily eroded soil from the central highlands of Mexico? *Biol. Fertil. Soils* 32: 109-113.
- Maass, J. M. 1998. La erosión de suelos en México: una consecuencia de la transformación del hábitat y uno de los problemas más serios de degradación ambiental. pp. 271-285. *In:* Toledo, G. y M. Leal (eds.). Destrucción del hábitat. PUMA, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. Princeton, NJ, USA.
- Martínez-Mena, M., J. Álvarez-Rogel, V. Castillo y J. Albaladejo. 2002. Organic carbon and nitrogen losses influenced by vegetation removal in a semiarid Mediterranean soil. *Biogeochemistry* 61: 309-321.
- Paul, E. A. y F. E. Clark. 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press. San Diego, CA, USA.
- Potvin, C. y D. Roff. 1993. Distribution-free and robust statistical methods: viable alternatives to parametric statistics? *Ecology* 74(6): 1617-1628.

- Purohit, U., S. K. Mehar y S. Sundaramoorthy. 2002. Role of *Prosopis cineraria* on the ecology of soil fungi in Indian desert. *J. Arid Environ.* 52: 17-27.
- Raina, P. y A. K. Sen. 1991. Soil degradation studies under different land use system in an arid environment. *Ann. Arid Zone* 30: 11-15.
- Reyes-Reyes, G., L. Baron-Ocampo, I. Cualí-Alvarez, J. T. Frias-Hernández, V. Olalde-Portugal, L. Varela-Fregoso y 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.
- Reynolds, J. F., R. A. Virginia, P. R. Kemp, A. G. de Soyza y D. C. Tremmel. 1999. Impact of drought on desert shrubs: effects of seasonality and degree of resource island development. *Ecol. Monogr.* 69: 69-106.
- Rzedowski, J. 1994. *Vegetación de México*. Limusa. México, D. F.
- Schlesinger, W. H. y A. M. Pilmanis. 1998. Plant-soil interactions in deserts. *Biogeochemistry* 42: 169-187.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1995. *Biometry*. 3rd ed. Freeman. San Francisco, CA, USA.
- StatSoft. 2000. *Statistica Ver. 6.0. Statistica for Windows* [Computer program manual]. Tulsa, OK, USA.
- Tiedemann, A. R. y J. O. Klemmedson. 1973a. Effect of mesquite on physical and chemical properties of the soil. *J. Range Manage.* 26: 27-29.
- Tiedemann, A. R. y J. O. Klemmedson. 1973b. Nutrient availability in desert grassland soil under mesquite (*Prosopis juliflora*) trees and adjacent open areas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 37: 107-110.
- Toledo, V. M. y Ma. de J. Ordóñez. 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. pp. 757-777. *In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Velázquez, A., J. F. Mas, R. Mayorga, J. L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna, I. Trejo, J. López-García, M. Palma, A. Peralta, J. Prado-Molina y F. González-Medrano. 2001. El Inventario Forestal Nacional 2000. *Ciencias* 64: 12-19.
- Villavicencio, N. M., B. E. Pérez y A. Ramírez. 1998. Lista florística del estado de Hidalgo. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México.
- Virginia, R. A. y W. M. Jarrell. 1983. Soil properties in a mesquite-dominated Sonoran desert ecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 138-144.
- Wang, J., B. Fu, Y. Qiu y L. Chen. 2001. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China. *J. Arid Environ.* 48: 537-550.
- Ward, D., K. Feldman y Y. Avni. 2001. The effects of loess erosion on soil nutrients, plant diversity and plant quality in Negev desert wadis. *J. Arid Environ.* 48: 461-473.