

PRÁCTICAS DE REHABILITACIÓN EN UN ECOSISTEMA SEMIÁRIDO, AFECTADO POR EL ESTABLECIMIENTO DE UN BANCO DE MATERIAL, EN EL NORESTE DE MÉXICO



SOIL REHABILITATION PRACTICES IN A SEMIARID ECOSYSTEM AFFECTED BY MINING ACTIVITIES IN NORTHEASTERN MEXICO

**José Manuel Mata-Balderas^{1*},
Eduardo Javier Treviño-Garza¹,
Javier Jiménez-Pérez¹,
Oscar Alberto Aguirre-Calderón¹,
Eduardo Alanís-Rodríguez¹ y
Rahim Foroughbakhch-Pournavab²**

¹Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional Km 145, A.P. 144, Linares, Nuevo León, México, C.P. 67700.

²Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ave. Pedro de Alba s/n, San Nicolás de los Garza, N.L., México, C.P. 66400.

*Autor para correspondencia: manuelmata792@gmail.com

Fecha de recepción: 20 de septiembre de 2013 / Fecha de aceptación: 28 de abril de 2014.

RESUMEN

El aprovechamiento de materiales a cielo abierto, representa un importante motor de desarrollo económico en el noreste de México, actividad que también ocasiona alteraciones ambientales en los ecosistemas en buen estado de conservación, como son, los cercanos a las mismas Áreas Naturales Protegidas, por lo cual, es necesario la integración de mecanismos de restauración en los procesos productivos. En la presente investigación se establecieron cuatro sitios de evaluación: (1) un área restaurada en el 2003; (2) un área restaurada en el 2008; (3) un sitio testigo en estado de

abandono y; (4) un área natural, en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México. En las áreas restauradas se crearon taludes con pendiente de 30° y una exposición noreste, y se estableció un programa de reforestación con plantas nativas adultas. En el área testigo no se realizaron prácticas de reforestación y/o rehabilitación posterior a las prácticas de aprovechamiento, y en el área natural no hubo prácticas de aprovechamiento, sirviendo de ecosistema base. El análisis consistió en un muestreo vegetativo simple al azar con cinco repeticiones en cada área, registrándose la evolución para los

factores suelo y vegetación en una escala de tiempo. Se encontró un total de 640 individuos, correspondientes a 19 familias y 39 especies, conformados por 14 leñosas, 16 suculentas y 9 herbáceas. Se determinó que las prácticas de restauración de comunidades semiáridas, mediante la incorporación de individuos adultos y la adecuación del relieve, proveen condiciones favorables para la regeneración natural, acciones que promueven la colonización de otras especies en ambientes semiáridos.

PALABRAS CLAVE: restauración, semiárido, taludes.

ABSTRACT

Open pit mining represents an important economic development in northeastern Mexico; nevertheless this activity also brings environmental changes on well conserved ecosystems, especially those that take place near Natural Protected Areas (ANP by its initials in Spanish), reason why it's necessary to ingrate restoration mechanisms in the production processes. In this research four test sites were established: (1) an area restored in 2003; (2) an area restored in 2008; (3) a site in a state of abandonment and; (4) a natural area; in the municipality of Ramos Arizpe, Coahuila, Mexico. In the restored areas, slopes of 30° of inclination and a northeast exposure were created, as well as a reforestation program with adult native plants was established. In the witness area no reforestation and/or rehabilitation practices were performed, meanwhile in the natural area there were no use practices, being classified as an ecosystem baseline. There were a total of 640 individuals classified into 19 families and 39 species, composed by 14 woody plants, 16 succulents and 9 herbaceous. It was determined that restoration practices in semiarid communities, by incorporating tree adult species and the adequacy of slopes, provide favorable conditions for natural regeneration and are actions that promote colonization of other species in semiarid environments.

KEYWORDS: restoration, semiarid, slopes.

INTRODUCCIÓN

Las regiones semiáridas poseen una vasta riqueza de materiales de origen geológico que representan una alternativa económica para países en vías de desarrollo (Neri y Sánchez, 2010). En los últimos años se ha incrementado el aprovechamiento de recursos de caliza y arcilla, debido a la demanda de insumos para la construcción, situación que ha sido el motor para el desarrollo en las regiones rurales y actividades industriales en los núcleos urbanos (Ten-Kate y col., 2004). Sin embargo, existen problemas asociados a esta actividad, como lo son: la fragmentación de los ecosistemas por efecto del retiro de la

cubierta vegetal y el abandono de estas áreas sin prácticas de rehabilitación (Josa y col., 2012; Wassenaar y col., 2012), dicha fragmentación ocasiona la modificación del ecosistema a nivel regional y la pérdida de hábitat en zonas específicas de influencia y amortiguamiento, por lo que restringen el flujo natural y el intercambio genético de la flora y fauna silvestre (Jiménez y col., 2009; Rybicki y Hanski, 2013). Aunado a ello, la presencia de estos proyectos de restauración, ubicados en zonas en buen estado de conservación, como lo son las Áreas Naturales Protegidas (ANPs), realza la importancia de la generación de conocimiento y divulgación de prácticas efectivas para la restauración y/o rehabilitación de estos ecosistemas en la planeación de los procesos de extracción, lo cual coadyuvará a la sustentabilidad de los recursos naturales y a la restitución de los servicios naturales que proveen (Kirmer y col., 2012).

Existen tratamientos de rehabilitación, que son comúnmente utilizados para recuperar la productividad de un área que ha sido aprovechada, en donde se cambia el uso y/o condición inicial del ecosistema. Las prácticas más comunes a nivel mundial son la siembra de leñosas (Mata y col., 2010), plantación de leñosas (Alanís y col., 2010), estabilización de taludes (Ginocchio y León, 2011) y las obras de retención del suelo (Myronidis y col., 2010). Dependiendo de algunos factores como del grado de afectación del área, la resiliencia del suelo y vegetación, y el recurso económico disponible, entre otros, se pueden realizar diferentes prácticas de restauración (Molina y col., 2012). Para determinar el grado de eficiencia de estas prácticas, es necesario evaluar periódicamente diferentes variables de los tratamientos, y compararlos con áreas afectadas sin restauración y sitios naturales sin afectación.

Para la presente investigación se evaluaron los efectos de las acciones realizadas en la rehabilitación de un ecosistema semiárido impactado por el aprovechamiento de materiales a cielo abierto. El objetivo del presente estudio fue cuantificar y relacionar las diferentes variables de la comunidad vegetal

(abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia, diversidad alfa y diversidad beta), con las variables edáficas (materia orgánica, macro y micronutrientes), en áreas con diferente tiempo de restauración (8 y 4 años), contra un área sin actividades de restauración y un área contigua no afectada por actividades de aprovechamiento. Esta última, con el objeto de conocer la composición y estructura florística de la comunidad afectada.

MATERIALES Y MÉTODOS

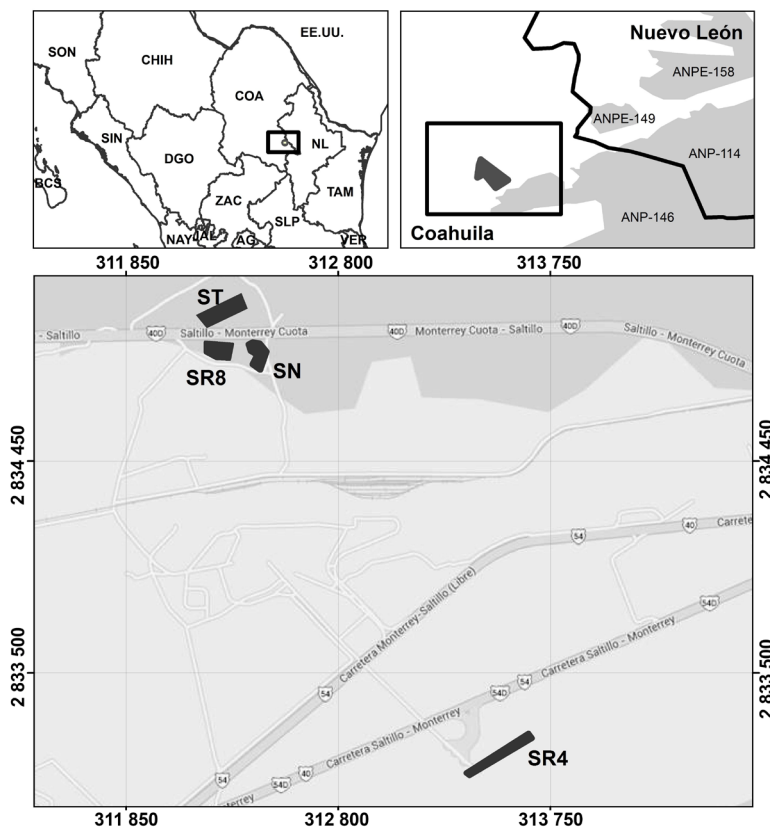
Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, en el noreste de México (Figura 1). Las coordenadas de ubicación son 25°37'12" latitud Norte y 100°53'22" de longitud Oeste. Según la clasificación de Köppen, el clima predominante es muy seco, semicálido (BWhw), con una temperatura media anual entre los 21 °C y 22 °C. Los tipos de suelos presentes son el Rcladeras E/2/L (Regosol calcárico + Rendzina / Lítico) y la precipitación media anual es de 200 mm a 300 mm. Presenta una altitud máxima de 1 280 msnm (CONAGUA, 2012). La comunidad vegetal representativa, de acuerdo a la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1986), está conformada principalmente por vegetación semiárida del tipo matorral desértico micrófilo asociado con matorral desértico rosetófilo, vegetación espinosa con hojas en forma de roseta y con una importante presencia de cactáceas. Algunas de las especies que representan a este ecosistema son las siguientes: lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), gobernadora (*Larrea tridentata* Sessé & Moc. ex DC.), entre otras (Alanís, 1996). Cabe destacar que el área de investigación es de alta prioridad, ya que se ubica entre las siguientes ANPs: Parque Nacional Cumbres de Monterrey (11.20 km) de regulación federal, Sierra Cerro de Bandidos (11.66 km) de regulación estatal (Nuevo León), Sierra de Zapalinamé (19.54 km) de regulación estatal (Coahuila), y Área de Protección de los recursos Naturales, Zona protectora Forestal CADNRO26 (1.20 km) de regulación federal (Figura 1).

Figura 1.

Ubicación de las áreas estudiadas: sitio restaurado 4 años (SR4); sitio restaurado 8 años (SR8); sitio testigo (ST) y; sitio natural (SN).

Figure 1. Location of the studied areas: location restored 4 years (SR4); location restored 8 years (SR8); control site (ST) and; natural location (SN).

**Tratamiento y análisis de la vegetación**

En el verano de 2011 se evaluaron dos áreas restauradas, con un tiempo de regeneración de cuatro años (SR4) y ocho años (SR8) respectivamente, así como un área testigo sin obras de restauración (ST) y un sitio natural sin afectaciones (SN) (Figura 2). Las áreas tenían una distancia máxima de 1.9 km entre ellas y presentaban características fisiográficas similares. En las áreas restauradas se realizaron actividades de acondicionamiento de manera mecánica, creando taludes con pendiente de 30°. También se crearon plataformas horizontales con contrapendiente, utilizando agregados para conformar terraplenes para la retención de material edáfico y retención de humedad (Figura 3).

Después de construir los taludes en las áreas restauradas, se realizó una reforestación con especies nativas en el mes de septiembre, mes con mayor precipitación del año en la zona. Los ejemplares utilizados fueron resultado de las prácticas de rescate y conservación de ejemplares adultos de agaváceas y cactáceas de la zona, previo a las acciones de aprovechamiento de materiales. Estos individuos estuvieron durante 12 meses en un vivero temporal contiguo a la zona de estudio. La densidad de plantación fue de 1 100 N/ha (individuos/hectárea) con un espaciamiento de 3 m x 3 m. En el área SR4 (Figura 2a), con una superficie de 4 300 m², se utilizaron 473 individuos, correspondientes a 10 especies (*Agave americana*, *Agave lecheguilla*, *Agave*

striata, *Dasyliion texanum*, *Echinocereus reichenbachii*, *Echinocereus eneacanthus*, *Lophopora williamsii*, *Coryphanta compacta*, *Mammillaria melanocentra* y *Mammillaria pottsii*), y en el SR8 (Figura 2b), con una superficie de 4 280 m², se utilizaron 471 individuos, correspondientes a seis especies (*Agave americana*, *Agave lecheguilla*, *Agave striata*, *Coryphanta compacta*, *Dasyliion texanum* y *Fouquieria splendans*), para las prácticas de reforestación.

Es importante manifestar que en el ST (Figura 2c) seleccionado con una temporalidad de ocho años de abandono y una superficie de 4 350 m², no se registró la presencia de especies vegetales establecidas sobre los taludes existentes. Por último, el SN (Figura 2d) evaluado fue de 4 200 m². Las acciones antes mencionadas fueron establecidas en dos períodos diferentes de acuerdo al avance constructivo, el SR8 en el 2005, y el SR4 en el 2009. La diferencia de especies plantadas, obedece principalmente a un requerimiento ambiental de autoridades federales para el rescate y protección de las familias cactaceae y agaveceae.

El método de registro de la vegetación, consistió en el establecimiento de cinco sitios de muestreo de 100 m², en cada una de las tres unidades de análisis (15 sitios en total). Los sitios fueron distribuidos aleatoriamente, para determinar la estructura y composición de la vegetación, para lo cual se efectuaron mediciones dasométricas de altura total de los ejemplares presentes (h), diámetro basal (d 0.10) y cobertura de copa. La medición del diámetro se realizó a 0.10 m sobre la base del suelo, siendo una medida estándar empleada para especies arbóreas y arbustivas (Alanís y col., 2008), y se evaluaron los individuos con un diámetro d 0.10 ≥ 1 cm, para obtener una mayor representatividad de las especies (Mora y col., 2013). La cobertura fue medida en términos absolutos, es decir: cm² cubiertos por cada especie (Montani y col., 1986). Los ejemplares fueron identificados por personal calificado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

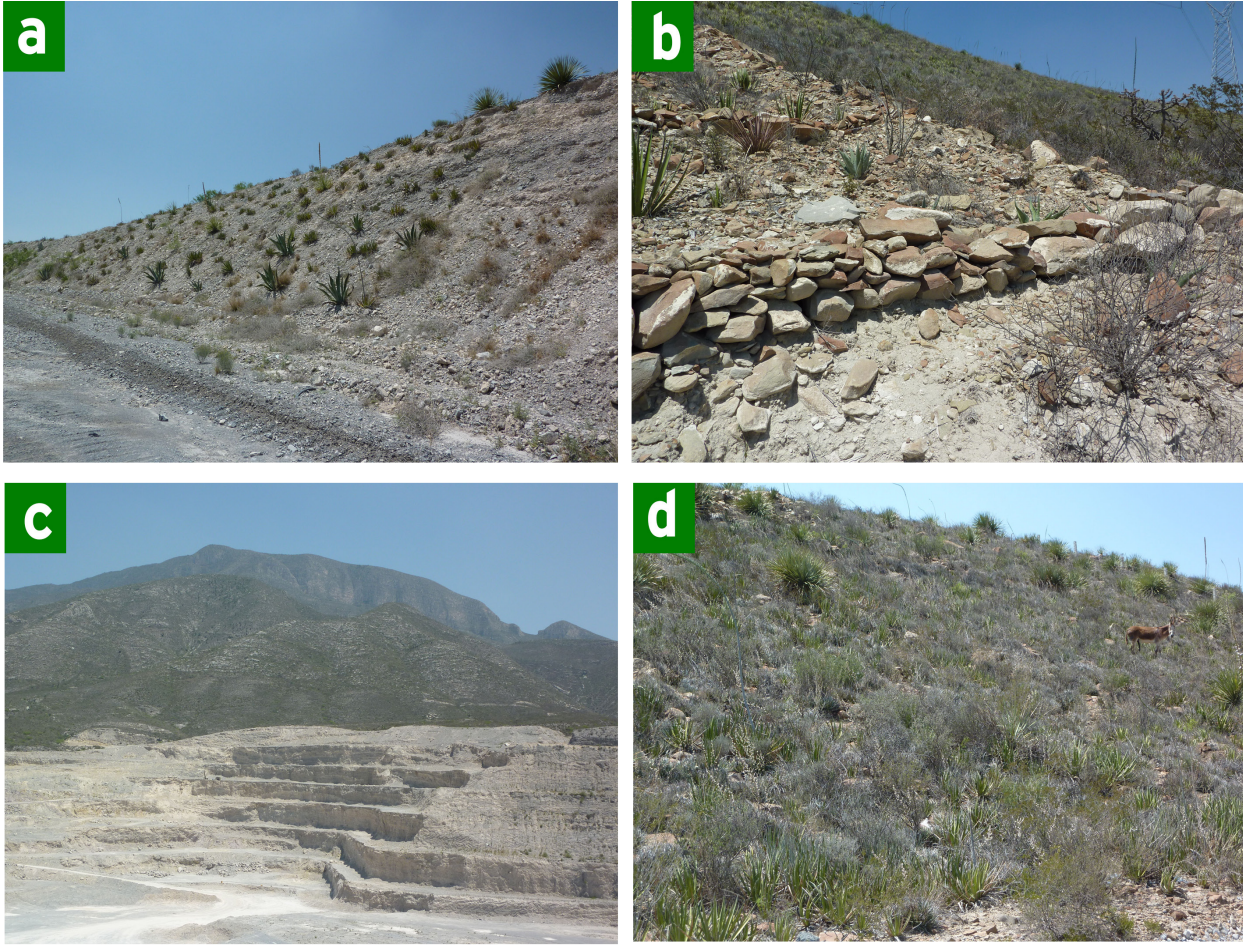
Análisis de la información

Se calculó el índice del valor de importancia

Figura 2.

Imágenes de los sitios evaluados: a) sitio restaurado cuatro años (SR4); b) sitio restaurado ocho años (SR8); c) sitio testigo (ST) y; d) sitio natural (SN).

Figure 2. Images of the evaluated sites: a) location restored 4 years (SR4); b) location restored 8 years (SR8); c) control site (ST) and; d) natural location (SN).



(IV) de las especies presentes, utilizando las siguientes variables relativas: abundancia (A_r), dominancia (D_r) y frecuencia relativa (F_r); y los parámetros ecológicos de diversidad alfa (α) mediante el índice de Margalef (D_{Mg}) e índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949), y la diversidad beta (β) con el coeficiente de similitud de Jaccard (Tabla 1).

Para la clasificación de los sitios y determinación de su semejanza, se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard, que expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies que comparten, por lo que es una medida inversa de la diversidad β , que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Magurran, 1988). El intervalo de valores para este índice

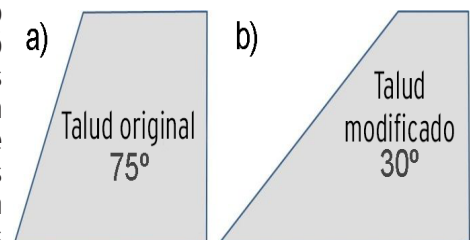
va de 0 (cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios), hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies. El análisis se llevó a cabo con el programa Multi Variate Statistical Package (MVSP) versión 3.2 y el método de ajuste utilizado fue Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA).

El análisis de las variables edáficas (macro y micronutrientes del suelo); se desarrolló en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL. Con esta información se procedió a determinar la relación entre especies vegetales y variables edafológicas mediante un análisis de ordenación canónica (ACC) en el programa CANOCO for Windows 4.55 (Ter-Braak y Smilauer, 1997), para el

Figura 3.

a) Estado original del talud; b) estabilización física del talud para su rehabilitación.

Figure 3. a) The original state of the slope; b) the physic stabilization of the slope for its restoration.



cual, se crearon bases de datos bióticos (abundancias de especies) y abióticos (variables edafológicas). Los datos de las especies fueron transformados con el método de la raíz cuadrada. Se registró el pH y porcentaje de Materia Orgánica, y las variables edafológicas seleccionadas fueron: a) Macronutrientes: carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre y calcio; b) Micronutrientes: boro, fierro, cobre y zinc (Tabla 3).

Para evaluar si existía diferencia significativa de las variables entre las áreas evaluadas, se procedió a calcular los valores promedio de los sitios de muestreo. Se realizó un análisis de varianza ANOVA ($P < 0.05$). Cuando se registraron diferencias significativas se efectuó la prueba de Tukey y Games Howell. El programa estadístico utilizado fue el SPSS versión 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron en total 640 individuos correspondientes a 19 familias y 39 especies, conformadas por 14 leñosas, 16 suculentas y 9 herbáceas (Tabla 1). De acuerdo a los valores máximos de *IVI*, las familias más representativas en SR4 fueron Agavaceae (24.88 %) y Asteraceae (23.58 %), y las especies *Agave lecheguilla* (14.70 %) y *Gymnosperma glutinosum* Spreng. Less. (8.58 %). Para SR8, las familias más representativas fueron Agavaceae (23.17 %), y Amaranthaceae (17.56 %), y las especies *Salsola kali* (17.56 %), y *Agave lecheguilla* (12.64 %), la primera es una planta anual originaria de Euroasia, herbácea cosmopolita que responde a suelos arenosos y frecuentemente impactados, y la segunda planta es una suculenta característica de suelos calizos. Por último, en el SN

se registraron las familias Agavaceae (17.71 %), Zygophyllaceae (13.11 %) y Asteraceae (7.32 %), y las principales especies fueron *Agave lecheguilla* (13.24 %), *Larrea tridentata* (9.49 %) y *Gymnosperma glutinosum* (4.69 %). Los géneros *Agave*, *Larrea*, *Gymnosperma* y *Salsola* son los más representativos de acuerdo con los patrones de abundancia relativa en las tres áreas estudiadas.

La abundancia de las plantas de la familia Cactaceae y Agavaceae, obedece a la incorporación de estos ejemplares como parte de la reforestación inicial (Tabla 2). La riqueza de especies presentes en SR4 fue de 18 especies (ocho como resultado de la regeneración natural), para SR8 fue de 16 especies (10 especies por regeneración natural), y para ST no se registró la presencia de especies vegetales. Por último, para el ecosistema

Figura 4.

a) Índice de Margalef; b) índice de Shannon-Wiener; c) área basal; d) altura promedio; e) dendrograma de similitud entre las áreas SR4, SR8 y SN. Valores promedio y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

Figure 4. a) Margalef index; b) Shannon-Wiener Index; c) basal area; d) average height; e) similarity dendrogram of the studied areas. Average values and standard deviation of the species. Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

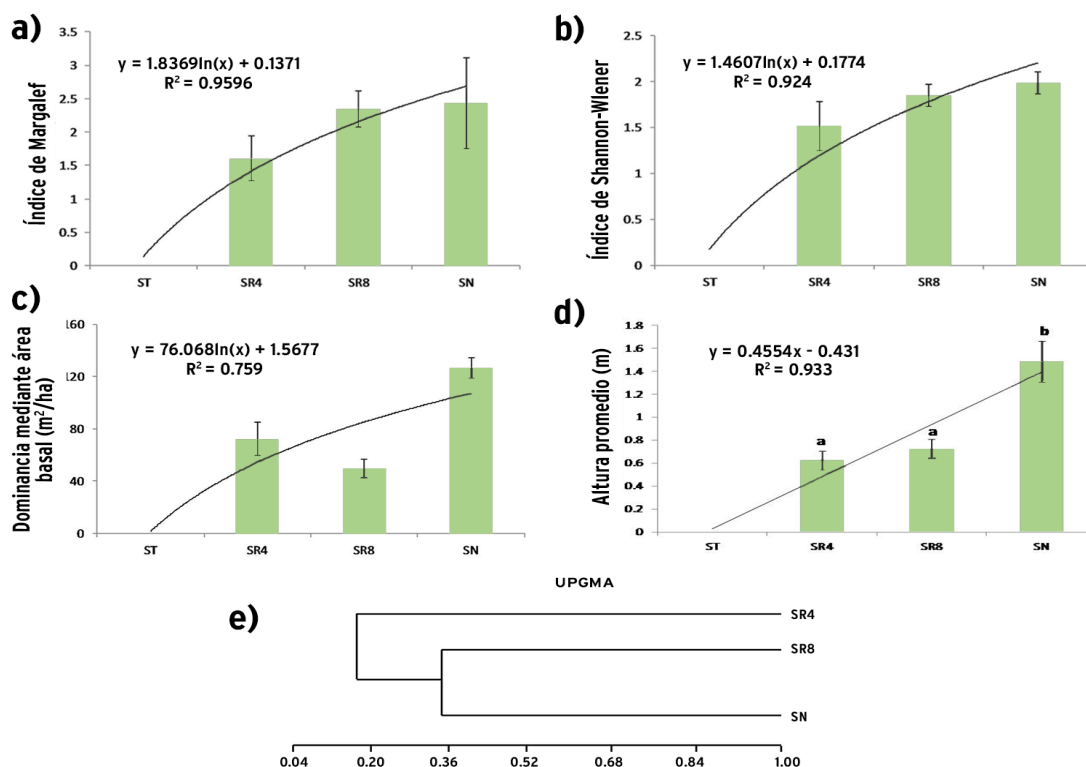


Tabla 1.

Valores de abundancia, dominancia, frecuencia relativa e índice de valor de importancia de las áreas evaluadas.
Table 1. Values of abundance, dominance, relative frequency and index of importance value of the evaluated areas.

Clave	Familia	Nombre Científico	Forma de Vida	ST				SR4				SR8				SN			
				Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	A _r	D _r	F _r	IVI
1	Mimosaceae	<i>Acacia berlandieri</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.865	2.137	6.125	4.042	
2	Zygophyllaceae	<i>Porlieria angustifolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.415	4.274	4.167	3.619	
3	Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Roseta	-	-	-	-	2.222	7.959	4.255	4.812	7.959	4.255	4.812	6.518	-	-	-	
4	Agavaceae	<i>Agave lecheguilla</i>	Roseta	-	-	-	-	25.926	7.551	10.638	14.705	21.104	7.013	9.804	12.640	27.536	2.137	10.055	13.243
5	Agavaceae	<i>Agave striata</i>	Roseta	-	-	-	-	5.926	5.918	4.255	5.367	1.948	4.208	5.882	4.013	-	-	-	
6	Asteraceae	<i>Baccharis pterionoides</i>	Herbácea	-	-	-	-	8.889	5.102	6.383	6.791	-	-	-	-	-	-	-	
7	Euphorbiaceae	<i>Bernardia myrcaefolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	4.274	4.155	3.293	
8	Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.831	7.123	4.167	5.374	
9	Mimosaceae	<i>Calliandra conferta</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	8.421	2.083	3.985	
10	Loasaceae	<i>Cevalia sinuata</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	1.299	6.311	5.882	4.497	-	-	-	
11	Cactaceae	<i>Coryphanta compacta</i>	Crasicuale	-	-	-	-	6.667	2.449	4.255	4.457	3.571	1.403	3.922	2.965	0.483	0.712	2.083	1.093
12	Euphorbiaceae	<i>Croton dioicus</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	6.818	2.104	5.882	4.935	-	-	-	-
13	Ruscaceae	<i>Dasyllirion texanum</i>	Roseta	-	-	-	-	2.222	10.612	6.383	6.406	1.623	7.013	5.882	4.839	7.729	6.410	6.250	6.796
14	Cactaceae	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	Crasicuale	-	-	-	-	5.185	3.061	4.255	4.167	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Cactaceae	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	Crasicuale	-	-	-	-	1.481	3.673	2.128	2.428	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Cactaceae	<i>Ferocactus hamathacantus</i>	Crasicuale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	0.142	2.070	1.220	
17	Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	0.974	16.830	3.922	7.242	-	-	-	-
18	Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.966	12.821	2.020	5.269	
19	Asteraceae	<i>Gochnatia hypoleuca</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.483	5.342	2.083	2.636	
20	Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Herbácea	-	-	-	-	5.926	9.184	10.638	8.583	-	-	-	5.797	2.137	6.150	4.695	
21	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>	Crasicuale	-	-	-	-	7.407	3.265	6.383	5.685	-	-	-	3.865	1.068	4.030	2.988	
22	Rhamnaceae	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.831	4.986	6.250	5.356	
23	Koeberliniaceae	<i>Koeberlinia spinosa</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.966	2.991	2.083	2.013	
24	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i>	Arbustiva	-	-	-	-	8.889	9.388	8.511	8.929	-	-	-	11.594	8.547	8.333	9.492	
25	Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.763	8.547	6.250	7.187	
26	Cactaceae	<i>Lophophora williamsii</i>	Crasicuale	-	-	-	-	2.963	1.633	4.255	2.950	-	-	-	-	-	-	-	-
27	Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Crasicuale	-	-	-	-	4.444	2.041	6.383	4.289	-	-	-	-	-	-	-	-
28	Cactaceae	<i>Mammillaria pottsii</i>	Crasicuale	-	-	-	-	2.963	1.633	4.255	2.950	-	-	-	-	-	-	-	-
29	Celastraceae	<i>Mortonia greggii</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.932	2.493	3.159	2.528	
30	Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i>	Crasicuale	-	-	-	-	0.741	4.082	2.128	2.317	0.974	2.104	3.922	2.333	0.966	1.256	2.083	1.435
31	Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i>	Crasicuale	-	-	-	-	-	-	-	-	1.623	4.208	3.922	3.251	1.932	2.137	4.167	2.745
32	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i>	Herbácea	-	-	-	-	5.926	10.204	8.511	8.214	-	-	-	-	-	-	-	-
33	Asteraceae	<i>Porophyllum macrocephalum</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	4.221	2.244	5.882	4.116	-	-	-	-
34	Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i>	Arborescente	-	-	-	-	2.222	12.245	6.383	6.950	1.948	18.233	5.882	8.688	3.382	2.459	4.025	3.289
35	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	37.987	4.909	9.804	17.567	3.865	1.781	4.045	3.230
36	Solanaceae	<i>Solanum rostratum</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	3.247	5.610	7.843	5.567	-	-	-	-
37	Boraginaceae	<i>Tiquilia canescens</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	7.468	4.488	7.843	6.600	-	-	-	-
38	Asteraceae	<i>Viguiera stenoloba</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	2.597	4.208	5.882	4.229	-	-	-	-
39	Agavaceae	<i>Yucca filifera</i>	Roseta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	7.805	4.167	4.474	
				0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 2.

Origen, forma de vida y valor del *IVI* de las especies en las áreas con rehabilitación.
Table 2. Origin, life form and *IVI* value of the species in rehabilitation areas.

Clave	Familia	Nombre Científico	Origen	Forma de Vida	Índice de valor de importancia		
					ST	SR4	SR8
3	Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Artificial	Roseta	--	4.812	6.518
4	Agavaceae	<i>Agave lecheguilla</i>	Artificial	Roseta	--	14.705	12.640
5	Agavaceae	<i>Agave striata</i>	Artificial	Roseta	--	5.367	4.013
6	Asteraceae	<i>Baccharis pterionoides</i>	Natural	Herbácea	--	6.791	-
10	Loasaceae	<i>Cevalia sinuata</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.497
11	Cactaceae	<i>Coryphanta compacta</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.457	2.965
12	Euphorbiaceae	<i>Croton dioicus</i>	Natural	Arbustiva	--	-	4.935
13	Ruscaceae	<i>Dasyliiron texanum</i>	Artificial	Roseta	--	6.406	4.839
14	Cactaceae	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.167	-
15	Cactaceae	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.428	-
17	Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i>	Artificial	Arbustiva	--	-	7.242
20	Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Natural	Herbácea	--	8.583	-
21	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>	Natural	Crasicaule	--	5.685	-
24	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i>	Natural	Arbustiva	--	8.929	-
26	Cactaceae	<i>Lophophora williamsii</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.950	-
27	Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.289	-
28	Cactaceae	<i>Mammillaria pottsii</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.950	-
30	Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i>	Natural	Crasicaule	--	2.317	2.333
31	Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i>	Artificial	Crasicaule	--	-	3.251
32	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i>	Natural	Herbácea	--	8.214	-
33	Asteraceae	<i>Porophyllum macrocephalum</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.116
34	Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i>	Natural	Arborescente	--	6.950	8.688
35	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	Natural	Herbácea	--	-	17.567
36	Solanaceae	<i>Solanum rostratum</i>	Natural	Herbácea	--	-	5.567
37	Boraginaceae	<i>Tiquilia canescens</i>	Natural	Herbácea	--	-	6.600
38	Asteraceae	<i>Viguiera stenoloba</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.229
					0	100	100

base o SN se registró la presencia de 23 especies. De acuerdo al criterio de Pianka (1982), las plantas que se establecen en un sitio perturbado, pueden clasificarse como colonizadoras eficientes (estrategas o plantas oportunistas) (Chaves y Escudero, 1997; Zimmerman y col., 2000). Este patrón de semejanza, que en este caso ocurre de manera natural para los sitios SR4 y SR8, posterior a las prácticas de restauración, se debe particularmente al establecimiento de las familias Asteraceae (5), Euphorbiaceae (2), Loasaceae (1), Zygophyllaceae (1), Fabaceae (1), Amaranthaceae (1), Solanaceae (1) y Boraginaceae (1), que de acuerdo al *IVI* representan el 45.15 % y 56.19 %, para SR4 y SR8 respectivamente (Tabla 2).

Diversidad alfa

Los valores promedios del índice de Margalef presentaron similitud estadística ($P = 0.1520$) en los SR4, SR8 y SN. Pese a ello, se aprecia que los valores incrementan conforme aumenta el tiempo transcurrido, observándose una línea de tendencia logarítmica positiva ($R^2 = 0.956$; Figura 4a). De igual manera, los valores promedios del índice de Shannon-Wiener presentaron similitud estadística ($P = 0.2150$) en los SR4, SR8 y SN, y un incremento del valor conforme aumenta el tiempo transcurrido con una línea de tendencia logarítmica positiva ($R^2 = 0.924$; Figura 4b). Estos resultados afirman lo expresado por Pugnaire y col. (2004a), quienes mencionan que en algunos territorios semiáridos la sucesión ecológica no culmina a menudo en una etapa madura y más o menos estable, sino que las condiciones ecológicas limitan la aparición y establecimiento de determinadas especies y comunidades. Los valores del índice de Margalef e índice de Shannon-Wiener del sitio natural son similares a los registrados por Canizales y col. (2009), y Mora y col. (2013), en matorrales maduros del noreste de México.

Dominancia

La dominancia promedio de las áreas evaluadas mostró diferencias significativas ($P = 0.0001$). La cobertura de la vegetación adulta establecida de manera inicial, propicia condiciones favorables de hábitat para el establecimiento de otras especies (herbáceas y algunas leñosas), particularmente de

las familias Asteraceae y Fabaceae. En la Figura 4c se aprecia una línea de tendencia logarítmica positiva ($R^2 = 0.759$). Si bien los valores de dominancia del SR4 y SR8 fueron menores al SN, estos valores son considerablemente mayores a los registrados por Jiménez y col. (2012), en áreas regeneradas naturalmente después de actividades agrícolas; Jiménez y col. (2013), en áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias, y a los de Hernández y col. (2013), en áreas regeneradas después de actividad forestal. Lo anterior, como resultado de

incorporación de una cobertura vegetal (ejemplares adultos), la cual acelera el proceso de estabilidad del sustrato, microclima y material germoplásmico, facilitando la colonización de otras especies y/o nuevos individuos.

Altura

Los valores promedios de altura mostraron diferencias significativas entre las áreas evaluadas ($P = 0.0001$) (Figura 4d). La estructura vertical muestra una tendencia lineal positiva ($R^2 = 0.933$; Figura 4d), con presencia de especies fuertemente adaptadas

a zonas semiáridas (familias Fabaceae y Zygophyllaceae). La altura promedio de los sitios SR4 y SR8 fue de 0.62 m y 0.72 m, respectivamente, mientras que la del SN fue de 1.48 m. Es importante mencionar que en cuatro años de regeneración la comunidad vegetal presenta el 41.89 % de la altura potencial de una comunidad madura, y en ocho años tiene el 48.64 %. Esto muestra una línea de tendencia positiva en relación a la altura obtenida en una escala de tiempo relativamente corta.

Diversidad beta

En base al análisis y dendrograma de agrupamiento de las áreas evaluadas (SR4, SR8 y SN), se aprecia que existe disimilitud entre ellos (Figura 4e). Esto indica, que aun teniendo similitud estadística en sus valores de riqueza y diversidad, presentan composiciones florísticas diferentes. La

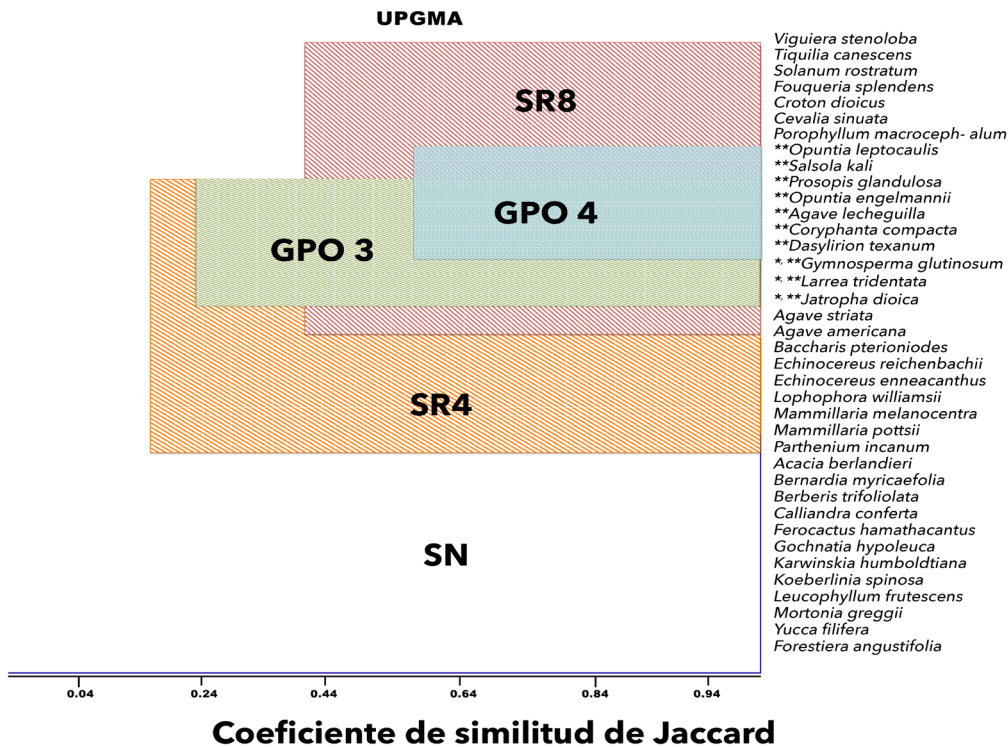
familia mejor representada fue Asteraceae (3 especies para SR4, 2 para SR8 y 2 para SN) y Agavaceae (3 especies para SR4, 3 para SR8 y 2 para SN) seguida por Amaranthaceae, Solanaceae y Boraginaceae (Tabla 1). Las especies de estas familias usualmente son favorecidas por efecto de la perturbación en las comunidades vegetales, ya que llegan a ser elementos abundantes en las primeras etapas sucesionales de la comunidad vegetal. De hecho, comúnmente son conocidas por su marcado comportamiento arvense, como malezas en cultivos o como ruderales en los caminos (Villaseñor y Espinoza, 1998), aspecto que en este estudio se observó constantemente en los taludes de los sitios abandonados, posterior a las actividades de rehabilitación. De las 23 especies registradas en el SN, 10 de ellas se presentan en las áreas rehabilitadas (siete en SR8 y ocho en SR4). Estos resultados concuerdan con los de

Pugnaire y col. (2004a), quienes mencionan que la composición de especies después de una perturbación, está definida en gran medida, por las especies que existían antes de la alteración y por la vegetación circundante. También coinciden con los resultados de Alanís y col. (2013), quienes evaluaron la diversidad beta de áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias, encontrando que las comunidades vegetales presentaban una alta disimilitud. De esta manera el factor diversidad se ve favorecido con la introducción de especies adultas al medio, lo cual resulta en condiciones favorables para el desarrollo de las diferentes fases de sucesión ecológica en una escala de tiempo.

Adicionalmente, se realizó un dendrograma de agrupamiento de especies de acuerdo a su presencia en cada sitio (Figura 5). El grupo cuatro muestra

Figura 5.

Dendrograma de similitud de especies en cada uno de los sitios.
Figure 5. Dendrogram of the species similarity in each of the sites.






* Las tres especies no pertenecen al SR8.




** Estas especies también pertenecen al SN.

Tabla 3.

Estimación de Macro y Micro nutrientes en las tres áreas evaluadas.
Table 3. Estimation of Macro and Micro nutrients in three evaluated areas.

Tratamiento	Macro						Micro						
	pH	M.O.	C	N	P	K	S	Ca	Bo	Cu	Fe	Zn	Mg
ST	6.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SR4	7.78	1.86	1.15	0.087	0.105	0.180	0.05	8.48	0.021	11.84	0.632	0.73	0.44
SR8	7.84	2.36	1.36	0.107	0.130	0.212	0.05	9.50	0.222	13.70	1.65	0.85	0.59
SN	7.91	4.26	2.47	0.169	0.173	0.237	0.05	24.7	0.132	19.61	1.66	0.88	0.68

pH = nivel de acidez en escala decimal (Rubinson, 2000), M.O. = porcentaje de materia orgánica, C = porcentaje de carbono, N = nitrógeno, P = fósforo, K = potasio, S = azufre, Ca = calcio, Bo = boro, Cu = cobre, Fe = hierro, Zn = zinc, Mg = magnesio. Unidades de medida en partes por millón. Valoración: Alto  Medio  Bajo 

pH = acidity level in decimal scale (Rubinson, 2000), M.O. = percent of organic matter, C = percent of carbon, N = nitrogen, P = phosphorus, K = potassium, S = sulfur, Ca = calcium, Bo = boron, Cu = copper, Fe = iron, Zn = zinc, Mg = magnesium. Units of measurement in parts per million. Values: High  Medium  Low 

siete especies compartidas entre SN y SR8: *Opuntia leptocaulis* y *Opuntia engelmannii*, *Prosopis glansulosa* y *Agave lecheguilla*; especies primarias que se caracterizan por hábitats sumamente variados, distinguiéndose aspectos como la tolerancia a temperaturas extremas, suelos calcáreos típicos de matorrales desérticos y su dispersión y/o adaptación a sitios perturbados, lo que indica una tendencia favorable en las condiciones del área posterior a las actividades de restauración (Pugnaire y col., 2004b). Con relación al grupo tres, las especies compartidas entre SN y SR4 son: *Larrea tridentata*, *Jatropha dioica*, *Agave lecheguilla*, *Coriphanta compacta*, *Dasyliion texanum*, *Prosopis glandulosa*, *Gymnosperma glutinosum* y *Opuntia engelmannii*.

Suelo

Con relación al factor edáfico se observó una homogeneidad en los valores de pH (suelos neutros) en las cuatro zonas evaluadas, en cuanto a los nutrientes K, S y Zn se mantuvieron constantes para los sitios SR4, SR8 y SN; en el ST no se pudieron obtener muestras dada la nula presencia de suelo. Los valores de MO, C

y Ca presentan un marcado incremento entre las áreas evaluadas, siendo el SN el que presentó los mayores valores dado su estado natural. Sin embargo, es importante manifestar que en el sitio se presentan suelos calizos frecuentemente poco profundos y rocosos, por lo que la sucesión secundaria se encuentra estrechamente relacionada con la captación y establecimiento de suelo vegetal, el cual proporciona los nutrientes necesarios para el establecimiento de especies perennes. Foster y Motzkin (2003), mencionan que la recuperación natural, se completa con la presencia de especies estructuralmente importantes y está influenciada por el tipo y calidad del suelo, y requiere de largos períodos de tiempo. Es importante destacar que la incorporación de material vegetal y la adecuación del relieve, permiten acelerar el proceso de captación de agua del suelo en zonas semiáridas, lo cual es uno de los objetivos del presente estudio.

Análisis de ordenación canónica ACC

Los resultados muestran que los valores de los tres primeros ejes del ordenamiento resultaron significativos, con una inercia total de 1.620, es decir, las

especies vegetales estuvieron distribuidas en asociación a gradientes ambientales (Figura 6). Así también, los resultados de las pruebas de permutaciones de Monte Carlo resultaron significativos para el primero y todos los ejes de la ordenación canónica. En general, el diagrama de ordenación representa adecuadamente la distribución de las especies en los sitios analizados con respecto a las variables ambientales seleccionadas, lo que concuerda con lo encontrado en el análisis de agrupamiento por especies, mostrado en la Figura 6. La variable con más correlación con las especies del SN es el calcio, ya que en este sitio no se llevaron a cabo extracciones de caliza y muestra el cambio drástico en la composición florística de un ecosistema al extraer este material. Las especies más abundantes del SR4 mostraron gran correlación con el elemento cobre, mientras que las dominantes en el SR8: hierba de pasmo (*Baccharis pterionoides* D.C.) y mariola (*Parthenium incanum* Kunth), presentaron una muy marcada correlación con el elemento boro (Figura 6).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el ST presentó una nula recuperación, dado que no se establecieron actividades

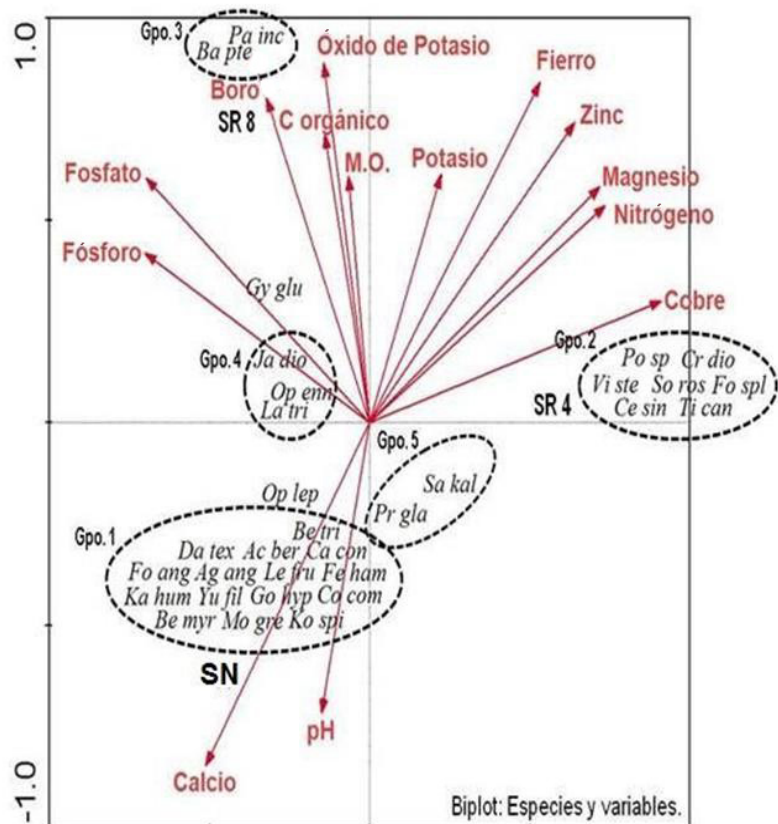
Figura 6.

Distribución de 31 especies vegetales de 2 áreas restauradas (SR4 Y SR8) y un sitio sin afectación (SN) en un ecosistema semiárido del noreste de México. Diagrama de ordenación de Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con las especies: Ac ber = *Acacia berlandieri*, Ag ang = *Agave angustifolia*, Ba pte = *Baccharis pterionoides*, Be tri = *Berberis trifoliata*, Be myr = *Bernardia myricaefolia*, Ca con = *Calliandra conferta*, Ce sin = *Cevalia sinuata*, Co com = *Coryphanta compacta*, Cr dio = *Croton dioicus*, Da tex = *Dasyliirion texanum*, Fe ham = *Ferocactus hamathacanthus*, Fo ang = *Forestiera angustifolia*, Fo spl = *Fouquieria splendens*, Go hyp = *Gochnatia hypoleuca*, Gy glu = *Gymnosperma glutinosum*, Ja dio = *Jatropha dioica*, Ka hum = *Karwinskia humboldtiana*, Ko spi = *Koeberlinia spinosa*, La tri = *Larrea tridentata*, Le fru = *Leucophyllum frutescens*, Mo gre = *Mortonia greggii*, Op enn = *Opuntia engelmannii*, Op lep = *Opuntia leptocaulis*, Pa inc = *Parthenium incanum*, Po sp = *Porophyllum macrocephalum*, Pr gla = *Prosopis glandulosa*, Sa kal = *Salsola kali*, So ros = *Solanum rostratum*, Ti can = *Tiquilia canescens*, Vi ste = *Viguiera stenoloba*, Yu fil = *Yucca filifera*; y variables ambientales (flechas): pH, C orgánico = contenido de carbono orgánico, M.O. = % de materia orgánica, % N, % P, % P2O5, % K, % K2O, % Ca, % Mg, % Fe, % Mg/, % Z, % Cu, % B.

Figure 6. Distribution of 31 plant species in 2 restored areas (SR4 Y SR8) and a site with no affectation (SN) in a semiarid ecosystem of northeastern Mexico. Management Diagram of Canonical Correspondence Analysis (CCA) with the species: Ac ber = *Acacia berlandieri*, Ag ang = *Agave angustifolia*, Ba pte = *Baccharis pterionoides*, Be tri = *Berberis trifoliata*, Be myr = *Bernardia myricaefolia*, Ca con = *Calliandra conferta*, Ce sin = *Cevalia sinuata*, Co com = *Coryphanta compacta*, Cr dio = *Croton dioicus*, Da tex = *Dasyliirion texanum*, Fe ham = *Ferocactus hamathacanthus*, Fo ang = *Forestiera angustifolia*, Fo spl = *Fouquieria splendens*, Go hyp = *Gochnatia hypoleuca*, Gy glu = *Gymnosperma glutinosum*, Ja dio = *Jatropha dioica*, Ka hum = *Karwinskia humboldtiana*, Ko spi = *Koeberlinia spinosa*, La tri = *Larrea tridentata*, Le fru = *Leucophyllum frutescens*, Mo gre = *Mortonia greggii*, Op enn = *Opuntia engelmannii*, Op lep = *Opuntia leptocaulis*, Pa inc = *Parthenium incanum*, Po sp = *Porophyllum macrocephalum*, Pr gla = *Prosopis glandulosa*, Sa kal = *Salsola kali*, So ros = *Solanum rostratum*, Ti can = *Tiquilia canescens*, Vi ste = *Viguiera stenoloba*, Yu fil = *Yucca filifera*; and environmental variables (arrows): pH, C orgánico = organic carbon content, M.O. = % of organic matter, % N, % P, % P2O5, % K, % K2O, % Ca, % Mg, % Fe, % Mg/, % Z, % Cu, % B.

de rehabilitación. Lo cual concuerda con lo establecido por Foster (2002), en donde mencionan que los regímenes de perturbación muy frecuentemente conducen a poblaciones remanentes pequeñas, lo que reduce notablemente la capacidad de recuperación del ecosistema. Sin embargo, los valores de riqueza y diversidad entre las áreas rehabilitadas (SR4 y SR8) no presentaron diferencias significativas, dado que el 46.15 % de las especies presentes, se establecieron de manera asistida (12 de 26 especies registradas en SR4 y SR8), pero si una recuperación positiva en la diversidad de especies en ambos sitios evaluados en una escala de temporal para SR4 y SR8 (7 y 9 especies respectivamente). Lo cual favoreció la protección del suelo y la formación de microambientes para el establecimiento de especies oportunistas, de manera particular, las familias Asteraceae (5) y Euphorbiaceae (2).

En relación con la adecuación del relieve en las áreas restauradas, se observa una tendencia positiva en la recuperación de las condiciones de suelo, así como el incremento y retención de materia orgánica (SR4 = 1.86 y SR8 = 2.36, comparado con SN = 4.26), y macro y micronutrientes (Tabla 3), nutrientes que están estrechamente relacionados con el crecimiento, germinación y desarrollo de la plantas, por lo que en el corto y mediano plazo, el restablecimiento de la composición y estructura de la vegetación original será inminente. Lo anterior, concuerda con Pugnaire y col. (2001), Chambers y Macmahon (1994), y Etchepare y Boccanelli (2007), quienes mencionan que la forma y exposición de las laderas y/o taludes determinan las condiciones ambientales diferenciales (temperatura y humedad) a las que responde la vegetación. Además de acuerdo a Rokich y col. (2000), la retención del suelo posterior a una alteración es un factor que coadyuva, junto con arribo de semillas viables, a la modificación en la composición de la cubierta vegetal; efecto que pudo observarse en esta investigación de manera específica en el establecimiento



de especies vegetales de las familias Asteraceae, Cactaceae, Euphorbiaceae, Loasaceae, Zygophyllaceae, Fabaceae, Amaranthaceae, Solanaceae y Boraginaceae, de manera natural.

Las familias Agavaceae (géneros *Agave* y *Dasyllirion*) y Cactaceae (género *Opuntia*) son, sin duda, las familias mejor adaptadas a las condiciones extremas en zonas semiáridas, como resultado de su reproducción asexual y cobertura, así como de sus características específicas para sobrevivir en suelos perturbados, condiciones extremas de humedad, temperatura y con ausencia de cobertura vegetal (Alanís y col., 2014). Estas plantas fungen como vectores importantes para la captación de suelo y nodricismo, en el caso específico de la presente investigación, en el establecimiento de 13 especies vegetales posterior a las prácticas de rehabilitación (*Partenium incanum*, *Prophyllum macrocephalum*, *Prosopis glandulosa*, *Salsola kali*, *Solanum rostratum*, *Tiquilia canescens*, *Opuntia engelmannii*, *Gymnosperma glutinosum*, *Jatropha dioica*, *Larrea tridentata*, *Croton dioicus*, *Cevalia sinuata* y *Baccharis*

pterioniodes) en la etapa de sucesión secundaria, en comparación con el sitio ST, en el cual no existe la regeneración natural, dado que no se llevaron a cabo prácticas de reforestación y adecuación del relieve.

CONCLUSIONES

La restauración de comunidades vegetales mediante la incorporación de especies vegetales nativas y adultas, y la adecuación del relieve, provee los elementos para la regeneración natural de la vegetación en un ecosistema semiárido afectado por la extracción de materiales. A través del tiempo (SR4, SR8), las variables de diversidad alfa (DMg y H') fueron incrementando, lo que indica que la comunidad vegetal presentó mayor heterogeneidad en su composición con relación al SN. Las especies *Agave lecheguilla*, *Agave americana*, *Agave striata*, *Opuntia engelmannii* y *Opuntia leptocaulis*, son especies resilientes que fungen como vectores para la colonización de otras especies en ambientes semiáridos. Así mismo, la adecuación del relieve en los sitios (SR4 y SR8) promovió

la incorporación de suelo y el incremento y la retención de materia orgánica, tomando como línea base el sitio testigo (ST), el cual presentó nula recuperación, y el sitio natural sin afectaciones (SN) que presentó las condiciones que se pretenden obtener para los sitios rehabilitados. De esta manera, las acciones desarrolladas en la presente investigación favorecieron el restablecimiento de los componentes básicos de la comunidad vegetal (estructura, función y composición), los cuales son necesarios para proveer de servicios ambientales (hábitat y alimento para fauna y retención del suelo, entre otros), en ecosistemas semiáridos afectados por el aprovechamiento de materiales. En contraposición, el no desarrollar estas prácticas, ocasiona que el ecosistema afectado no se recupere por sí mismo (ST). Por ello, es imperante la necesidad de integrar en las actividades de aprovechamiento, la conservación de material vegetal, suelo y la adecuación del relieve posterior a los cortes, con la finalidad de propiciar con la restauración asistida, la recuperación de los ecosistemas afectados.¶

REFERENCIAS

- Alanís, E., Aguirre, O. A., Jiménez, J., Pando, M., Treviño, E. J., Aranda, R. y Canizales P. A. (2010). Efecto de la severidad del fuego sobre la regeneración asexual de especies leñosas de un ecosistema mixto (*Pinus-Quercus*) en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Interciencia*. 35(9): 690-695.
- Alanís, E., Jiménez, J., Espinoza D., Jurado, E., Aguirre, O. A. y González, M. A. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada postincendio en el Parque Ecológico Chipinque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 14(2): 13-118.
- Alanís, E., Jiménez, J., González, M. A., Yerana J. I., Cuellar, L. G. y Mora-Olivo, A. (2013). Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany*. 82: 185-191.
- Alanís, E., Mora-Olivo A., Jiménez, J., González, M. A., Yerana, J. I., Martínez, J. G. y González, E. (2014). Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*. En prensa.
- Alanís, G. J., Cano, G. y Rovalo, M. (1996). *Vegetación y Flora de Nuevo León: Una Guía Botánico-Ecológica*. México: Impresora Monterrey, S. A. de C. V. 251 Pp.
- Canizales, P. A., Alanís, E., Aranda, R., Mata, J. M., Jiménez, J., Alanís, G., Uvalle, J. I. y Ruiz, M. G. (2009). Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México.
- Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15(2): 115-120.
- Chambers, J. C. and MacMahon, J. A. (1994). A day in the life of a seed: movements and fates of feeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 25: 263-292.
- Chaves, N. y Escudero, J. C. (1997). Allelopathic effect of *Cistus ladanifer* on seed germination. *Functional Ecology*. 11: 432-440
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2012). Servicio Meteorológico Nacional, Estación 00005140 Ramos Arizpe, Coahuila. [En línea]. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/index.php>. Fecha de consulta: 25 de abril de 2012.
- Etchepare, M. A. y Boccanelli, S. I. (2007). Análisis del banco de semillas y su relación con la vegetación emergente en una

- clausura de la llanura pampeana. *Ecología Austral*. 17(1): 159-166.
- Foster, B. L. (2002). Constraints on colonization and species richness along a grassland productivity gradient: the role of propagule availability. *Ecology Letters*. 4: 530-535.
- Foster, D. R. and G. Motzkin. (2003). Interpreting and conserving the openland habitats of coastal New England: insights from landscape history. *Forest Ecology and Management*. 185: 127-150.
- Ginocchio, R. y León-Lobos, P. (2011). *Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N°1: Metodología General*. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 82 Pp.
- Hernández, J., Aguirre, O. A., Alanís, E., Jiménez, J. y González, M. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(3): 189-199.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1986). *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 170 Pp.
- Jiménez, J., Alanís, E., Aguirre, O., Pando, M. y González, M. A. (2009). Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques*. 15(3): 5-20.
- Jiménez, J., Alanís, E., González, M. A., Aguirre, O. A., and Treviño, E. J. (2013). Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 58(3): 299-304
- Jiménez, J., Alanís, E., Ruiz, J. L., González, M. A., Yerena, J. I. y Alanís, G. J. (2012). Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*. 15(2): 66-71.
- Josa, R., Jorba, M., and Vallejo, V. R. (2012). Opencast mine restoration in a Mediterranean semi-arid environment: failure of some common practices. *Ecological Engineering*. 42: 183-191.
- Kirmer, A., Baasch, A., and Tischew, S. (2012). Sowing of low and high diversity seed mixtures in ecological restoration of surface mined-land. *Applied Vegetation Science*. 15(2): 198-207
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Estados Unidos: Princeton University Press. 179 Pp.
- Mata, J. M., Treviño, E. J., Jiménez, J., Alanís, E. y Salinas, W. E. (2010). Evaluación de la siembra directa de *Pinus cembroides* y *P. nelsonii* en la restauración de un ecosistema semiárido-templado. *Ciencia UANL*. 8(1): 72-77.
- Molina-Guerra, V. M., Pando-Moreno, M., Sánchez-Salas, J., González-Rodríguez, H., Alanís-Rodríguez, E. y Cantú-Silva, I. (2012). La resiliencia del recurso suelo. *Boletín Divulgativo de la Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica*. 6(1): 16-18
- Montani, T., Distel, R. A. y Busso, C. A. (1986). *Métodos de Estudio de la Vegetación*. Guía de Trabajos Teórico-Prácticos de Ecología. Argentina: Universidad Nacional del Sur. 60 Pp.
- Mora, C. A., Alanís, E., Jiménez, J., González, M. A., Yerena, J. I. y Cuellar, L. G. (2013). Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada*. 12(1): 29-34.
- Myronidis, D. I., Emmanouloudis, D. A., Mitsopoulos, I. A., and Riggos, E. (2010) Soil erosion potential after fire and rehabilitation treatments in Greece. *Environmental Modeling and Assessment*. 15: 239-250.
- Neri, A. C. and Sánchez, L. E. (2010). A procedure to evaluate environmental rehabilitation in limestone quarries. *Journal of Environmental Management*. 91(11): 2225-2237.
- Pianka, E. R. (1982). *Ecología evolutiva*. Barcelona: Omega. 376 Pp.
- Pugnaire, F. I. and Luque, M. T. (2001). Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress. *Oikos*. 93: 42-49.
- Pugnaire, F. I., Armas, C., and Valladares, F. (2004a). Soil as a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *Journal of Vegetation Science*. 15 (1): 85-92.
- Pugnaire, F. I., Luque, M., Armas, C., and Gutiérrez, L. (2004b). Factors affecting secondary succession in a semi-arid Mediterranean shrubland. *Journal of Ecology*. 56(2): 213-233.
- Rokich, D. P., Dixon, K. W., Sivasithamparam, K., and Meney, K. A. (2000). Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. *Restoration Ecology*. 8(2): 196-208
- Rubinson, J. F. y Rubinson, K. A. (2000). *Química Analítica contemporánea*. EUA: Editorial Pearson Education. 615 Pp.
- Rybicki, J. and Hanski, I. (2013). Species-area relationships and extinctions caused by habitat loss and fragmentation. *Ecology Letters*. 16(1): 27-38
- Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Estados Unidos: The University of Illinois Press. 117 Pp.
- Ten-Kate, K., Bishop, J., and Bayon, R. (2004). Biodiversity offsets: Views, experience, and the business case. [En línea]. Disponible en: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/bdoffsets.pdf>. Fecha de consulta: 4 de abril de 2012.
- Ter-Braak, C. J. F. and Smilauer, P. (1997). *Canoco for Windows Version 4.02*. Centre for Biometry, Wageningen, The Netherlands.
- Villaseñor, J. L. y Espinosa, G. F. J. (1998). *Catálogo de Malezas de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. 449 Pp.
- Wassenaar, T. D., Henschel, J. R., Pfaffenthaler, M. M., Mutota, E. N., Seely, M. K., and Pallett, J. (2012). Ensuring the future of the Namib's biodiversity: Ecological restoration as a key management response to a mining boom. *Journal of Arid Environments*. 93: 126-135.
- Zimmerman, J. K., Pascarella, J. B., and Aide, T. M. (2000). Barriers to forest regeneration in an abandoned pasture in Puerto Rico. *Restoration Ecology*. 8: 350-360.