

COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y DIVERSIDAD DE UN ÁREA RESTAURADA POST-MINERÍA EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO

FLORISTIC COMPOSITION AND DIVERSITY OF A POST-MINING AREA RESTORED IN THE TAMAULIPAN THORNSCRUB

**Jonathan J. Marroquín-Castillo¹, Eduardo Alanís-Rodríguez¹,
 Javier Jiménez-Pérez¹, Oscar A. Aguirre-Calderón¹,
 José M. Mata-Balderas², y Alejandro Collantes Chávez-Costa³**

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Linares-Cd. Victoria Km 145. Apartado Postal 41. CP 67700, Linares, N.L. México.

²Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S.C. Carretera San Miguel-Huinalá 935, 3er. piso, local 384, Plaza Comercial Acanto, CP 66647, Apodaca, N.L. México.

³División de Desarrollo Sustentable, Universidad de Quintana Roo. Av. Andrés Quintana Roo con calle 110 Sur s/n CP 77600. Cozumel, Quintana Roo, México.
 Correo electrónico: jjmarroquincastillo@gmail.com

RESUMEN

La restauración ecológica de espacios afectados por la explotación minera a cielo abierto debe tener como objetivo reconstruir y recuperar algunos atributos de los ecosistemas naturales del entorno. La presente investigación tiene la finalidad de evaluar un área sujeta a la restauración activa en el matorral espinoso tamaulipeco, la cual estuvo bajo procesos de aprovechamiento a cielo abierto para la obtención de caliza, materia prima en los procesos de construcción. La técnica de restauración consistió en depositar material rocoso y edáfico en el área, proveniente de los desechos del aprovechamiento y excluirla de cualquier actividad productiva. Después de siete años se evaluó la comunidad vegetal mediante 12 sitios de muestreo de 100 m² (10 x 10 m). Con la información recabada se determinaron a nivel especie los indicadores ecológicos de: abundancia, dominancia, frecuencia

e índice de valor de importancia, y a nivel comunidad los índice de Margalef (*DMg*) e índice de Shannon-Wiener (*H'*). Se registraron un total de 22 especies pertenecientes a 19 géneros y 13 familias. La familia con mayor presencia fue la Fabaceae, con cinco especies. La especie que presenta la mayor importancia en el área estudiada fue *Briegellia veronicifolia* cuyo índice de valor de importancia fue de 59.19%. A nivel comunidad, se registró un valor de *H'* de 1.49 y un valor *DMg* de 3.12. Con esta investigación se concluye que las técnicas de restauración de depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de cualquier actividad productiva generan condiciones favorables para que la comunidad vegetal del matorral espinoso tamaulipeco se establezca después de la actividad minera a cielo abierto.

Palabras clave: restauración ecológica, referencia, restauración pasiva, minería, indicadores ecológicos.

ABSTRACT

Ecological restoration in areas affected by opencast mining must have as a goal to reconstruct the natural ecosystems. This research aims to evaluate a tamaulipan thornscrub area, subjected to active restoration intervention after open cast mining to obtain limestone, feedstock in the construction process. The restoration technique consisted in depositing crushed rock and edaphic material in the area, and excluding it from of any productive activity. After seven years, the plant community was evaluated. Twelve sampling sites 100 m² (10 x 10 m) was established in the area to evaluate the vegetation. In each site, the floristic composition was determined, as well as ecological indicators: abundance, density, frequency and importance value index, Margalef and Shannon-Wiener indexes. Were recorded a total of 22 species belonging to 19 genus and 13 families. The family with the largest presence was the Fabaceae, with five species. *Brickellia veronicifolia* showed greatest importance in the study area, with 59.19 % of the Importance Value Index. We was recorded a value of H' of 1.49 and a DMg value of 3.12. With this research we conclude that restoration techniques consisted in depositing crushed rock and edaphic material in the area, and excluding it from of any productive activity could generates favorable conditions for the establishment of the tamaulipan thornscrub after the opencast mining.

Key words: ecological restoration, reference ecosystems, passive restoration, richness species, diversity species.

INTRODUCCIÓN

Las zonas mineras representan alrededor de 1% de la superficie terrestre (Šálek, 2012). Registrando en los últimos dos años, un aumento superior a 13% (Lira *et al.*, 2013). En el 2012, el 22% de las minas a cielo abierto se encontraban en América Latina y el Caribe y actualmente más de 85% de las grandes explotaciones planificadas son a cielo abierto (David *et al.*, 2013).

En México, la minería referente a los productos de gravas y arenas representa en la actualidad un 7% a nivel nacional (Anónimo, 2009). Los primeros antecedentes de exploración para estos productos en el estado de Nuevo León se remontan a los inicios del siglo XVII (Anónimo, 2011). Los beneficios económicos de la extracción mineral son elevados; sin embargo, existe la paradoja entre el crecimiento económico contra los problemas ambientales que acarrea dicho crecimiento; no obstante pocas veces se han demostrado cuantitativamente las aseveraciones de dichos daños al ambiente (López *et al.*, 2010; Virah-Sawmy *et al.*, 2014).

La minería a cielo abierto consiste en retirar la vegetación, el suelo y, cuando es necesario, la voladura de la roca madre para obtener acceso al recurso deseado. Las explotaciones mineras a cielo abierto se desarrollan, con frecuencia, en espacios naturales cuyo valor ecológico y paisajístico se ven mermados por la severa alteración que reciben (Jorba y Vallejo, 2006). Cuando se concluye con las actividades de aprovechamiento a cielo abierto surge la necesidad de mitigar los daños ocasionados por la misma y emprender acciones de restauración para revertir sus efectos (Batty, 2005; Boyer y

Wratten, 2010; Zhao *et al.*, 2012; Biswas *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014).

Según la Sociedad de Restauración Ecológica (SER) se define como restauración ecológica a las acciones que de forma planeada se realizan para iniciar o acelerar el proceso de recuperación de un ecosistema, facilitando la trayectoria ecológica hacia estado ideal conocido (Gann y Lamb, 2006); La restauración tiene como finalidad generar las condiciones bióticas y abióticas para que se recupere el sistema natural afectado y sea autosustentable. En el caso de las canteras, la recuperación no es fácil, en la medida en que los ecosistemas deben crearse totalmente e integrarse en el paisaje, y resulta especialmente difícil si se desarrolla en un clima semiárido, donde alternan períodos secos con períodos de lluvias torrenciales (Jorba y Vallejo, 2008; Van Andel *et al.*, 2012).

Bajo ciertas circunstancias, la suspensión de actividades humanas y la exclusión del factor de perturbación (restauración pasiva) es suficiente para que un ecosistema pueda recuperar las condiciones básicas en forma autónoma (Mata *et al.*, 2014; Zahawi *et al.*, 2014). Sin embargo, en otros casos es necesaria la realización de actividades deliberadas y específicas (restauración activa) que estimulen el proceso de recuperación del sistema natural (Van Andel y Aronson, 2006). En la recuperación de zonas de explotación minera éstas actividades de restauración activa consisten en parte, en el depósito de sustrato que está ausente (Cooke y Johnson, 2002), mismo que no sólo representa al sustrato, sino que además es fuente de elementos importantes de la comunidad biológica del suelo (e.g. micorrizas, semillas y microartrópodos) (Menta *et al.*, 2014; Middleton y Bever, 2012).

Si bien, existe literatura que evalúa la regeneración de las comunidades vegetales del matorral espinoso tamaulipeco después de actividades silvícolas (Martínez *et al.*, 2014) y agropecuarias (Jiménez *et al.*, 2012; Pequeño *et al.*, 2012; Alanís *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013), se tiene poca información en relación a la regeneración de este ecosistema semiárido afectado por el aprovechamiento minero. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la composición y diversidad de las especies vegetales en un sitio post-minería luego de la realización del depósito de material rocoso y edáfico en una zona de matorral espinoso tamaulipeco, la cual fue sometida a procesos de aprovechamiento a cielo abierto para la obtención de caliza, materia prima en los procesos de construcción.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en los terrenos de una pedrera con actividad de minera a cielo abierto, la cual se localiza en las coordenadas N 26°03'; O 99°44', con una altitud de 444 m; ubicado a 12 km de la cabecera municipal de Cerralvo, Nuevo León (noreste de México, fig. 1).

El área de estudio se ubica dentro de la Sierra de Picachos, considerada como una de las regiones prioritarias para la conservación, Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) y como Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP). La vegetación predominante de la zona es matorral espinoso tamaulipeco (MET), abarca comunidades de fisionomías muy diversas, con características de las zonas áridas y semiáridas en las que predominan

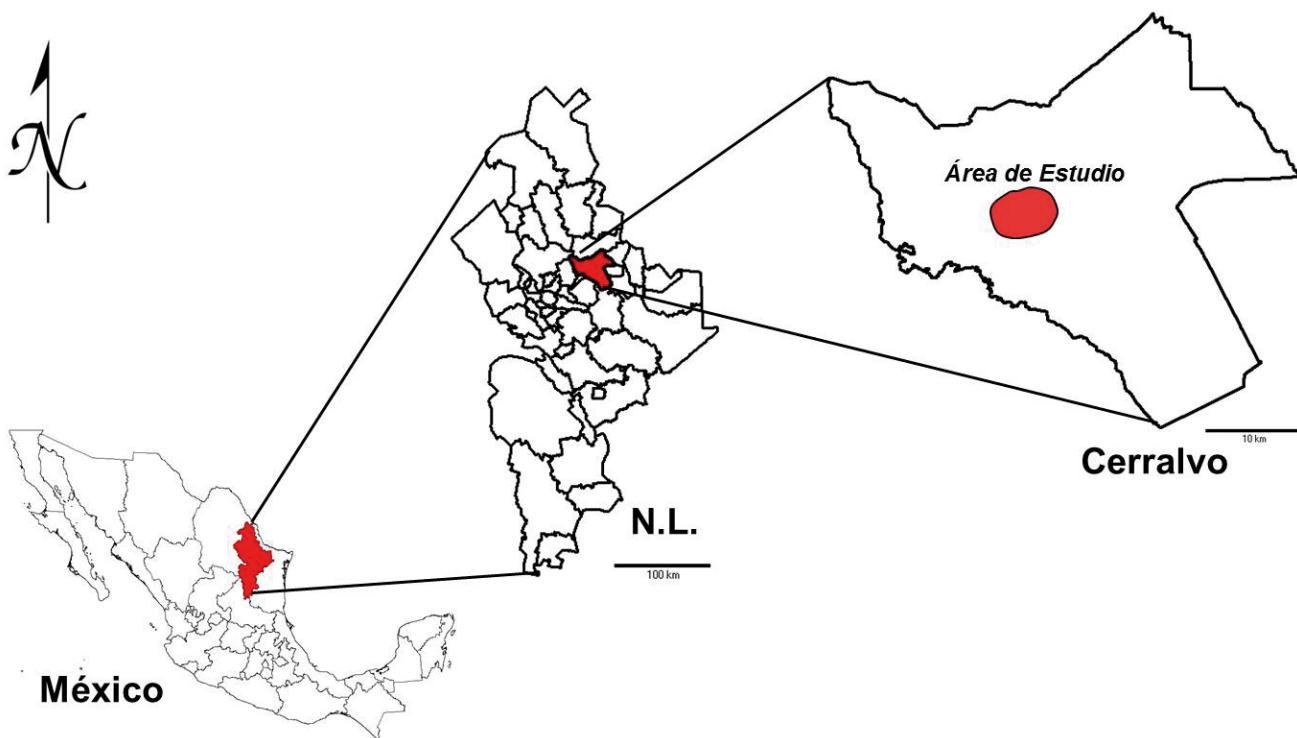


Fig. 1. Localización del área de estudio.

especies arbóreas y arbustos bajos de 2 a 4 m de altura, caducifolios. Según la clasificación de Köppen el clima predominante es BS1hw, correspondiente al tipo semiárido, templado, con lluvias en verano, la temperatura media anual varía entre 21.3° y 27.4°C. Los meses de mayor precipitación pluvial son septiembre y octubre, con un promedio anual de 596.6 mm.

Análisis de la vegetación

Para analizar las especies vegetales presentes en un área con historial de uso minero de roca caliza, después de no existir aprovechamiento, se seleccionó una zona del MET. El área fue explotada del año 2000 al 2006, mediante procesos de voladuras (fragmentación de la roca) a cielo abierto. En 2006, la explotación minera fue suspendida, quedando el lugar abandonado y degradado donde se presentaba roca expuesta. Para asistir la recuperación de la comunidad vegetal, en el año 2006 se utilizaron como técnicas de restauración el depósito de material rocoso y edáfico, mismo proveniente del material restante del aprovechamiento, roca caliza de granulometrías menores, cuyo uso es desecho para la minera, el material rocoso carente de materia orgánica o de semillas, éste fue acomodado siguiendo las curvas a nivel del área restaurada y fue realizado inmediatamente después de concluidas las labores de aprovechamiento, finalmente se puso un cerco perimetral para excluirla de actividades pecuarias, principalmente.

En el invierno del año 2013 (siete años después de haber sido abandonado el banco de materiales) se establecieron de manera aleatoria 12 sitios de muestreo de forma cuadrada de 10×10 m (100 m^2), a una distancia

de 250 m del MET sin perturbación. En los sitios de muestreo se realizó un censo de las especies arbóreas y arbustivas (≥ 10 cm de altura). A cada individuo se le efectuaron mediciones de diámetro de copa (dcopa).

Análisis de la información

Para cumplir con los objetivos, se determinaron los parámetros ecológicos de abundancia (ARi), dominancia (DRi) y, frecuencia (FRi) de cada especie. Con dicha información se calculó el índice de valor de importancia (IVI) que adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Magurran, 2004). Para estimar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef (DMg). En lo que se refiere a la diversidad se usó el índice de Shannon & Weiner (González et al., 2010).

Para la estimación de la abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia se emplearon las siguientes ecuaciones (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). La abundancia relativa se evaluó mediante:

$$Ai = Ni/S$$

$$ARi = (Ai / \sum Ai) * 100 \\ i = 1 \dots n$$

donde Ai es la abundancia absoluta, ARi es la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, Ni es el número de individuos de la especie i , y S la superficie de muestreo (ha).

La dominancia relativa se evaluó mediante:

$$Di = Abi / S(\text{ha})$$

$$DR_i = \frac{(Di / \Sigma Di) * 100}{i = 1 \dots n}$$

donde Di es la dominancia absoluta, donde DR_i es la dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, Ab el área de copa de la especie i y S la superficie muestreada (ha).

La frecuencia relativa se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$F_i = P_i / NS$$

$$FR_i = \frac{(F_i / \Sigma F_i) * 100}{i = 1 \dots n}$$

donde F_i es la frecuencia absoluta, donde FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total, P_i es el número de sitios en la que está presente la especie i y NS el número total de sitios de muestreo. Con los valores obtenidos para ARI , DR_i y FR_i se calculó el índice de valor de importancia (IVI) se define como (Whittaker, 1972; Moreno, 2001):

$$IVI = \frac{ARI + DR_i + FR_i}{3}$$

Para estimar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef (DMg) y para la diversidad alfa el índice de Shannon & Weiner (H') Wiener (Shannon y Weaver, 1949), mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_{Mg} = \frac{(s - 1)}{\ln(N)}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s pi * \ln(pi)$$

$$pi = \frac{ni}{N}$$

Donde s es el número de especies presentes, N es el número total de individuos y ni es el número de individuos de la especie i .

Para describir la estructura de la comunidad se generó una gráfica de dominancia-diversidad (Brower *et al.*, 1998), la cual describe la relación del valor de importancia de las especies en función de un arreglo secuencial de especies, de la más a la menos importante (Martella *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total se registraron, 22 especies pertenecientes a 19 géneros y 13 familias. Las familia con mayor presencia fue la Fabaceae (cinco especies), seguido por Malvaceae y Poaceae (tres en ambos casos), y la Asteraceae (dos especies), mientras el resto de las familias presentó una sola especie (tabla 1). Diversos estudios en minas abandonadas refieren a estas familias como dominantes en minas en proceso de recuperación. Díaz *et al.* (2005) reportaron 44 especies pertenecientes a 19 familias en una mina en Zacatecas (con vegetación de matorral espinoso), siendo Asteraceae, Poaceae y Solanaceae las que se presentaron comúnmente. Los mismos autores en una mina de Temascaltepec, México (con vegetación de encino-pino), registraron 29 especies vegetales pertenecientes a 12 familias, siendo Asteraceae, Leguminosae, Fabaceae y Poaceae las de mayor riqueza de especies. En bancos de material abandonados, Muñoz *et al.* (2006) registraron 50 especies vegetales representadas en nueve familias, siendo las especies dominantes de las familias Poaceae, Asteraceae y Leguminosae.

La presencia de la familia Fabaceae, se asocia a su capacidad de establecimiento

Tabla 1. Nombre científico, nombre común, familia y forma de crecimiento de las especies presentes en el área de estudio. En las últimas dos columnas se indican las especies que han sido reportadas en áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias (Alanís., 2013 y Jiménez., 2013) y prístinas (García-Hernández y Jurado, 2008; Mora., 2013).

Nombre científico	Nombre común	Familia	Forma de vida	Reportada en áreas regeneradas	Reportada en áreas prístinas
<i>Abutilon dugesii</i> S. Watson..	abutilón	Malvaceae	arbustiva		
<i>Acacia berlandieri</i> Bent.	guajillo	Fabaceae	arbustiva	X	
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	huizache	Fabaceae	arbustiva	X	X
<i>Acacia rigidula</i> Bent.	gavia	Fabaceae	arbustiva	X	X
<i>Anagallis arvensis</i> L.	hierba del pájaro	Primulaceae	herbácea		
<i>Aristida adscencionis</i> L.	zacate tres barbas	Poaceae	herbácea		
<i>Aristida divaricata</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	zacate	Poaceae	herbácea		
<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray.	hierba del haito	Asteraceae	arbustiva		
<i>Cevallia sinuata</i> Lag.	abrojo	Loasaceae	arbustiva		
<i>Cordia boissieri</i> A. DC..	anacahuita	Boraginaceae	arbórea	X	X
<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	hierba de la cucaracha	Sapindaceae	arbustiva		
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	tenaza	Fabaceae	arbórea	X	X
<i>Haploesthes greggii</i> A. Gray	dyssodia	Asteraceae	arbustiva		
<i>Rhamnus humboldtiana</i> Willd. ex Schult.	coyotillo	Rhamnaceae	arbustiva	X	X
<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	cenizo	Scrophulariaceae	arbustiva		X
<i>Lippia graveolens</i> Kunth	oreganillo	Verbenaceae	arbustiva		
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garccke	huinare	Malvaceae	herbácea		
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	pasto rosado	Poaceae	herbácea		
<i>Meximalva filipes</i> (A. Gray) Fryx.	sida	Malvaceae	arbustiva		
<i>Senna lindheimeriana</i> (Scheele) Irwin & Barneby	senna	Fabaceae	arbustiva		
<i>Waltheria indica</i> L.	tapacola	Sterculiaceae	arbustiva		
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	palma	Asparagaceae	arbórea	X	X

en condiciones ambientales adversas, déficit hídrico y baja disponibilidad de nitrógeno. Domínguez *et al.* (2013) menciona que las especies pertenecientes a las Fabaceas son más tolerantes a la sequía edáfica, ya que presentan valores más altos en el potencial hídrico del xilema al preamanecer y al mediodía, bajo condiciones de falta de agua, respecto a otras especies. Asimismo, Domínguez *et al.* (2013) y Pequeño *et al.* (2012) refieren que las áreas que han sufrido algún tipo de perturbación por la actividad humana, en este caso la actividad minera, tienden a reflejar una baja disponibilidad de nitrógeno, resultando en el establecimiento de especies tolerantes a dichas condiciones en las primeras fases de sucesión ecológica (tabla 2).

A nivel especie (tabla 3), *Brickellia veronicifolia* mostró los valores más altos en abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia. Esta especie arbustiva pionera no es característica de alguna fase sucesional del MET (Jiménez *et al.*, 2013; Alanís *et al.*, 2013), la cual ha sido reportada para el estado de Nuevo León en el matorral submontano (Estrada *et al.*, 2011) y en el matorral xerófilo y bosques de encino del Parque Nacional Cumbre de Monterrey (Estrada *et al.*, 2013). Por otro lado, nuestros resultados concuerdan con los reportados por Carrillo y González (2006), Hernández *et al.* (2009) y Ortega (2012), quienes registraron esta especie en áreas regeneradas después de actividades mineras. La alta presencia de esta especie puede deberse a que posee algunas características morfológicas (sistema radical muy profundo), que le permite desarrollarse con éxito sobre lutita y caliza, resultando una planta pionera en ecosistemas degradados por actividades mineras donde los suelos son

pobres y altamente rocosos. Otra estrategia evolutiva de la especie, es que produce una gran cantidad de semillas pequeñas, con cerdas plumosas, características de diáforas con dispersión pagonocora (Dispersión por el viento) (Martínez *et al.*, 2012), lo que les confiere una alta eficiencia para ser dispersadas a largas distancias (Cain *et al.*, 2000). Asimismo, *B. veronicifolia* presenta una forma de vida hemicriptofita, pierde la parte aérea en los períodos críticos del año (de estación seca o desfavorable), lo que les permite adaptarse a las condiciones de carencia de agua y también escapar de factores que ponen en peligro su supervivencia en estos hábitat (Franco, 2005). Además de ser una especie que acumula altas concentraciones de cadmio, plomo, zinc y cobre, por lo que puede establecerse y crecer en áreas contaminadas con estos elementos característicos de zonas de explotación minera, dándole una ventaja más sobre otras especies al ser tolerante a dichas condiciones (Carrillo y González, 2006).

Referente a la abundancia, la comunidad evaluada presenta 6 867 individuos por hectárea (N/ha). Después de *B. veronicifolia*, las dos especies que presentaron mayor abundancia fueron *Aristida adscencionis* (Poaceae) y *Melinis repens* (Poaceae), en conjunto estas especies sumaron el 77.06% de la abundancia proporcional de la comunidad vegetal. Por otro lado las especies que presentaron los valores más bajos de abundancia fueron *Malvastrum coromandelianum* (Malvaceae) y *Anagallis arvensis* (Primulaceae).

A nivel comunidad, el área evaluada presentó 6 352 m² cubiertos por las copas, es decir existe un 63.52% de área con cobertura vegetal. La cobertura vegetal juega un papel

Tabla 2. Familias registradas en el área de estudio (ordenadas según su valor de importancia). Se presentan la Abundancia (*A*) en términos de densidad de individuos (*N/ha*) y Abundancia relativa (*AR*); Dominancia absoluta (*D*), expresada como la cobertura (m^2/ha), y Dominancia relativa (*DR*); y Frecuencias absoluta (*F*) y relativa (*FR*).

Nombre científico	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI (%)
	<i>A</i>	<i>AR</i>	<i>D</i>	<i>DR</i>	<i>F</i>	<i>FR</i>	
Asteraceae	562	68.20	5743.62	90.41	4683.33	68.20	75.61
Poaceae	91	11.04	65.60	1.03	758.33	11.04	7.71
Fabaceae	52	6.31	219.86	3.46	433.33	6.31	5.36
Loasaceae	38	4.61	24.17	0.38	316.67	4.61	3.20
Malvaceae	26	3.16	114.61	1.80	216.67	3.16	2.70
Sapindaceae	18	2.18	92.08	1.45	150.00	2.18	1.94
Sterculiaceae	12	1.46	4.92	0.08	100.00	1.46	1.00
Rhamnaceae	10	1.21	45.17	0.71	83.33	1.21	1.05
Verbenaceae	5	0.61	6.67	0.10	41.67	0.61	0.44
Boraginaceae	4	0.49	25.75	0.41	33.33	0.49	0.46
Scrophulariaceae	3	0.36	9.58	0.15	25.00	0.36	0.29
Asparagaceae	2	0.24	0.67	0.01	16.67	0.24	0.17
Primulaceae	1	0.12	0.08	0.00	8.33	0.12	0.08
	824	100	6352	100	6866	100	100

muy importante para que se den otros procesos o funciones en el área degradada, por ejemplo crean un microambiente para que se desarrollen otras especies e incorpora material orgánico para la formación del suelo. A nivel especie, se tiene que *B. veronicifolia* cubre el 90.25% del área cubierta, seguida por *Senna lindheimeriana*, *Dodonaea viscosa* y *Abutilon dugesii*.

La familia Asteraceae registra la mayor frecuencia absoluta, seguida de la familia Poaceae, con 68.20% y 11.04%, siendo la familia Primulaceae la que presenta menor frecuencia absoluta con 0.12%. A nivel especie, *B. veronicifolia*, aparece en todos los sitios, seguido de *Abutilon dugesii* y *Meximalva filipes* con 42% de presencia en los sitios de muestreo.

La familia Asteraceae registra el mayor *IVI*, reportando más de una tercera parte del peso ecológico para la comunidad vegetal. La especie que sobresale por su peso ecológico fue la especie *B. veronicifolia* con 59.19 %, mientras que la segunda y la tercera especie con mayor importancia fueron *Abutilon dugesii* con 4.08% y *Senna lindheimeriana* con 3.79%.

El gráfico de dominancia-diversidad presenta una distribución de modelo geométrico, según este modelo, la comunidad está compuesta por unas pocas especies pero muy abundantes, las restantes son prácticamente raras. El modelo supone que las especies difieren marcadamente en su dominancia competitiva, de manera que las especies más dominantes ocupan

Tabla 3. Especies presentes en una comunidad del matorral espinoso tamaulipeco.

Se presentan la Abundancia (*A*) en términos de densidad de individuos (*N/ha*) y Abundancia relativa (*AR*); Dominancia absoluta (*D*), expresada como la cobertura (m^2/ha), y Dominancia relativa (*DR*); y Frecuencias absoluta (*F*) y relativa (*FR*).

Nombre científico	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
	<i>A</i>	<i>AR</i>	<i>D</i>	<i>DR</i>	<i>F</i>	<i>FR</i>	
<i>Brickellia veronicifolia</i>	4550	66.26	5733.81	90.25	100	21.05	59.19
<i>Abutilon dugesii</i>	142	2.06	88.84	1.39	42	8.77	4.08
<i>Senna lindheimeriana</i>	267	3.88	141.93	2.22	25	5.26	3.79
<i>Meximalva filipes</i>	67	0.97	25.58	0.40	42	8.77	3.38
<i>Cevallia sinuata</i>	317	4.61	24.14	0.38	17	3.51	2.83
<i>Melinis repens</i>	358	5.22	44.67	0.70	8	1.75	2.56
<i>Aristida adscencionis</i>	383	5.58	19.09	0.30	8	1.75	2.55
<i>Haploesthes greggii</i>	133	1.94	9.82	0.15	25	5.26	2.45
<i>Acacia farnesiana</i>	108	1.58	20.66	0.32	25	5.26	2.39
<i>Waltheria indica</i>	100	1.46	4.93	0.07	25	5.26	2.27
<i>Lippia graveolens</i>	42	0.61	6.66	0.10	25	5.26	1.99
<i>Rhamnus humboldtiana</i>	83	1.21	45.17	0.71	17	3.51	1.81
<i>Dodonaea viscosa</i>	150	2.18	92.08	1.44	8	1.75	1.80
<i>Cordia boissieri</i>	33	0.49	25.74	0.40	17	3.51	1.47
<i>Acacia rigidula</i>	17	0.24	20.58	0.32	17	3.51	1.36
<i>Leucophyllum frutescens</i>	25	0.36	9.58	0.15	17	3.51	1.34
<i>Yucca filifera</i>	17	0.24	0.64	0.01	17	3.51	1.25
<i>Acacia berlandieri</i>	25	0.36	18.41	0.28	8	1.75	0.80
<i>Havardia pallens</i>	17	0.24	18.93	0.29	8	1.75	0.77
<i>Aristida divaricata</i>	17	0.24	1.84	0.02	8	1.75	0.68
<i>Malvastrum coromandelianum</i>	8	0.12	0.59	0.00	8	1.75	0.63
<i>Anagallis arvensis</i>	8	0.12	0.05	0.00	8	1.75	0.63
	6867	100	6352.69	100	475	100	100

una fracción grande del nicho y las demás especies deben repartirse lo que queda. Este patrón se observa básicamente en estadios tempranos de una sucesión o en ambientes desfavorables (Martella *et al.*, 2012). Para este estudio la única especie que presentó

un valor de importancia alto fue *B. veronicifolia* (fig. 2).

La riqueza específica fue de 22 especies, similar a lo reportado por Mora *et al.* (2013) e inferior a lo obtenido por Pequeño *et al.*

(2012), en ambos casos se evaluó la regeneración en áreas con perturbación pecuaria en el MET. El valor de riqueza del índice de Margalef fue de $DMg = 3.12$. Valor similar, y menor, a lo reportado por Moreno *et al.* (2013) y Sarmiento *et al.* (2013), quienes evaluaron la regeneración después de una perturbación por incendio. No obstante, la comunidad vegetal presenta una alta riqueza de especies si se compara con otras áreas regeneradas del matorral como lo reporta Pequeño *et al.* (2012), Domínguez *et al.* (2013) y Mora *et al.* (2013), áreas perturbadas por actividades pecuarias. De acuerdo al índice de Shannon, la comunidad presenta un valor de 1.49, valor bajo comparado con los de áreas con historial de uso silvícola y agrícola ya que Jiménez *et al.*, (2012) registraron valores de diversidad alfa de $H' = > 2.24$ así como Molina-Guerra *et al.*, (2013) quienes a su vez estudiaron la composición y diversidad vegetal en áreas con sistemas de pastoreo en el MET del NE de México y obtuvieron valores $H' = > 2.22$ y Mora *et*

al. (2013) registró una diversidad alfa $H' = 1.95$ evaluando el efecto de la ganadería en el MET. No obstante resulta superior a lo registrado por Pequeño *et al.* (2012), quienes presentan valores de $H' = 1.27$, en un análisis de la restauración, pospecuaria en el MET después de 30 años (tabla 4).

En términos de la comunidad regenerativa arbórea y arbustiva característica del MET, ninguna de las especies reportadas en este trabajo como abundantes y estructuralmente importantes corresponden a las reportadas en estudios previos de la regeneración del MET en áreas abandonadas luego de su aprovechamiento en ganadería extensiva e intensiva, agricultura, y matarrasa (Alanis *et al.*, 2008; Alanis *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013; tabla 1). Estas diferencias en composición de especies pueden deberse en buena medida a la menor intensidad de la perturbación generada por estas prácticas silvoagropecuarias. Los factores limitantes en las condiciones del sustrato caracterís-

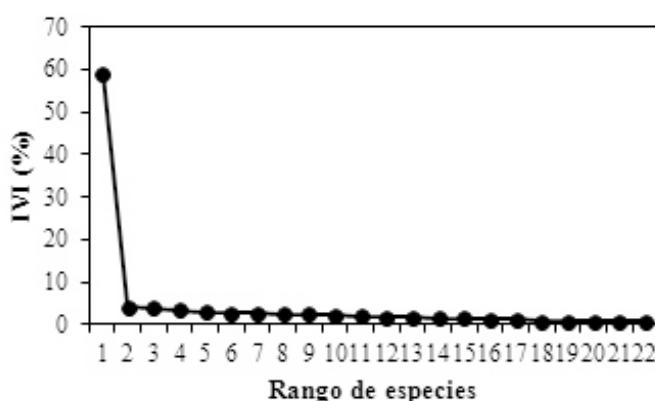


Fig. 2. Curva de dominancia-diversidad basada en IVI y rango de especies.

Tabla 4. Índice de riqueza y diversidad de especies, en el área estudiada.

Índices	Valores
Riqueza específica por especie	22
Riqueza específica por familia	13
Shannon (H')	1.49
Margalef (D_{Mg})	3.12

ticas de este estudio, son la baja cantidad de suelo orgánico y la alta presencia de gravas y arenas gruesas. Otro factor es la escasa disponibilidad de humedad. Estos factores limitantes parecieran restringir el establecimiento, a corto plazo, de las especies colonizadoras típicas de disturbios silvoagropecuarios (Alanís *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013).

Además de estas diferencias que pudieran sugerir un retraso en el proceso de sucesión, en el estudio se registraron a *Acacia rigidula*, *Cordia boissieri*, *Havardia pallens*, *Karwinskia humboldtiana* y *Leucophyllum frutescens* (tabla 1), especies características y estructuralmente importantes del MET en condiciones prístinas, tanto del estrato arbustivo-arbóreo alto como arbustivo medio (García-Hernández *et al.*, 2008; Mora *et al.*, 2013). Esto muestra una tendencia a la recuperación de la composición vegetal, ya que se registraron especies típicas de comunidades vegetales de estados avanzados de la sucesión.

La información generada en el presente estudio servirá como base para futuros trabajos de restauración y/o rehabilitación de áreas degradadas por la minería en el

noreste de México. Los futuros proyectos donde se pretenda llevar a cabo acciones de revegetación, deben tomar en cuenta la selección adecuada de las especies, haciendo énfasis en aquellas especies pioneras que colonizan de manera natural y rápida como las observadas en nuestro estudio.

CONCLUSIONES

Con los resultados de la presente investigación se concluye que: 1) la técnica de restauración de depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de toda actividad (especialmente pecuaria), genera condiciones favorables para que las especies tolerantes a este tipo de contaminación se establezcan, ya que sus características morfológicas le permiten colonizar y generar condiciones para que la comunidad vegetal del matorral espinoso tamaulipeco se establezca después de la actividad minera a cielo abierto, esta capacidad de regeneración se ve reflejada en sus valores de densidad, cobertura, riqueza y diversidad, 2) dicha comunidad de acuerdo a la gráfica de dominancia-diversidad presenta una distribución de modelo geométrico, ya que está dominada por la alta presencia de la especie *B. veronicifolia*, la cual no es característica en alguna fase sucesional del

MET. 3) La especie de mayor importancia por su contribución estructural a la comunidad fue *B. veronicifolia*. 4) La familia con mayor presencia fue la Asteraceae lo cual se atribuye a que presenta uno de los mecanismos de dispersión más eficientes. La presente investigación proporcionó información cuantitativa sobre la restauración activa en un sitio post-minería a cielo abierto en el MET, generando información fitosociológica de la comunidad vegetal y elementos cuantitativos que servirán de base para futuros programas de restauración y rehabilitación del ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por proporcionar la beca de maestría al primer autor. Agradecimiento especial para el departamento de gestoría y proyectos ambientales de la empresa Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S.C. (GEMA, S.C.), al personal del mismo por el tiempo invertido y por la valiosa aportación brindada en el presente estudio. De igual manera a la minera Matrimar S.A. de C.V. por todas las facilidades otorgadas para el establecimiento y desarrollo de la investigación.

LITERATURA CITADA

Alanís, E.; J. Jiménez, O. Aguirre, E. Treviño, E. Jurado, y M. González, 2008. “Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco”. *Ciencia UANL*, **10**(1): 56-62.

Alanís, E.; J. Jiménez, A. González, I. Yerana, L. G. Cuellar y A. Mora, 2013. “Análisis de la vegetación secundaria

del matorral espinoso tamaulipeco, México”. *Phyton Revista International de Botánica Experimental*, **82**: 185-191.

Anónimo, 2009. *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags. México. 100 pp.

Anónimo, 2011. *Panorama Minero del estado de Nuevo León*. 2011. Servicio geológico mexicano. Coordinación general de minería. NL, México. 57 pp.

Batty, L.C., 2005. “The potential importance of mine sites for biodiversity”. *Mine water and the environ*, **24**(2): 101-103.

Biswas, C.K.; P. Mishra, y A. Mukherjee, 2013. “Floral diversity in sites deranged by opencast mining in Sonepur Bazari of Raniganj coalfield area, West Bengal”. *In J. Appl & P Bio*, **28**(2): 265-273.

Boyer, S., y D. Wratten, 2010. “The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining-A review”. *Basic Appl Ecol*, **11**(3): 196-203.

Brower, J.E.; J.H. Zar, y C. N. Von Ende, 1998. *General Ecology*. McGraw-Hill. Boston, MA. Estados Unidos, 273 pp.

Cain, M.L.; B. Milligan, y A. Strand, 2000. “Long-distance seed dispersal in plant populations”. *Amer J Bot*, **87**: 1217-1227.

- Carrillo, R., y C.M. González-Chávez, 2006. “Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes”. *Environ Pollution*, **144**(1): 84-92.
- Cooke J.A., y M.S. Johnson, 2002. “Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice”. *Environ Rev*, **10**: 41-71.
- David, H.; J. Rosales, y P. Ouboter, 2013. “Gestión del impacto de la explotación minera a cielo abierto sobre el agua dulce en América Latina”. *Banco Interamericano de Desarrollo Unidad de Salvaguardias Ambientales Nota técnica # IDB-TN-520*. 40 pp.
- Díaz, G. L. M.; O. A. Díaz, G. R. Carrillo y C. M. González, 2005. “Plantas que se desarrollan en áreas contaminadas con residuos mineros”. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 161 pp.
- Domínguez, G.T.; H. González, R. Ramírez, E. Estrada, I. Cantú, M. Gómez, J. Villarreal, S. Alvarado, y G. Alanís, 2013. “Diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda”. *Rev. Chapingo. Ser. cienc. for. amb.*, **17**: 106-123.
- Estrada, C.E.; J. Villareal, E. Jurado, C. Cantú, M. García, J. Sánchez, J. Jiménez, y M. Pando, 2011. “Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México”. *Bot. Sci.*, **90**(1): 37-52.
- Estrada, C.E.; J. Villarreal, M. Salinas, H. Rodríguez, J. Jiménez, y M. García, 2013. “Flora and phytogeography of Cumbres de Monterrey National Park, Nuevo León, México”. *J. Bot. Res. Ins. Tex.* **7**(2):771-801.
- Franco, I.M.G., 2005. *Estrategias de colonización de las plantas, para la restauración de jales de mina, en la sierra de Catorce, SLP*. Universidad Autónoma de Chapingo. Maestría en Ciencias Forestales. Artículos 2005, 1-19 pp.
- Gann, G.D., y D. Lamb, redactores, 2006. *La restauración ecológica: un medio para conservar la biodiversidad y mantener los medios de vida* (versión 1.1). Society for Ecological Restoration (SER) International, Tucson, Arizona, EE.UU. y IUCN, Gland, Suiza.
- García-Hernández, y E. Jurado, 2008. “Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares, NL, México”. *Ra Ximhai*, **4**(1) 1-21.
- González, R.H.; R. Ramírez, I. Cantú, M. Gómez, y J. Uvalle, 2010. “Composición de la estructura y vegetación de tres sitios del estado de Nuevo León, México”. *Polibotánica*, **22**: 91-106.
- Hernández, A.E.; R.E. Mondragón, D. Cristobal, J. E. Rubiños, y E. Robledo, 2009. “Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México”. *Rev. Chapingo. Ser. cienc. for. amb.*, **15**(2): 109-114.
- Jiménez, J.; E. Alanís, J.L. Ruiz, M.A. González, J.I. Yerena, y G. Alanís,

2012. "Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el noreste de México". *Ciencia UANL*, **15**(2): 66-71.
- Jiménez, J.; E. Alanís, M. A. González, O. A. Aguirre, y E. J. Treviño, 2013. "Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico". *Southwest Nat*, **58**(3): 299-304.
- Jorba, M., y R. Vallejo, 2006. "La restauración ecológica en minería: El proyecto EcoQuarry". *Canteras*, **891**: 16-23.
- Jorba, M., y R. Vallejo. 2008, "La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riesgos". *Rev. cient. y téc. ecol. y medio amb*, **17**(3): 119-132.
- Lira, C.; C. Payan, I. Restrepo, L. Angulo, 2013. "La jornada ecológica, el auge de la minería... Nos enseña el cobre". Número especial.
- López, M.A.; R. Valdivia, J.L. Romo, M. Sandoval, y B.S. Larqué, 2010. "Valoración económica de una mina de arena". *Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, **28**(3): 255-263.
- Mata, M.; E.J. Treviño, J. Jiménez, O. A. Aguirre, E. Alanís, y R. Foroughbakhch, 2014. "Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido afectado por el establecimiento de un banco de material, en el noreste de México". *Ciencia UAT*, **8**(2): 32-43.
- Martella, M.; E. Trumper, L. Bellis, D. Renison, P. Giordano, G. Bazzano, y R. Gleiser, 2012. "Manual de Ecología: Evaluación de la biodiversidad". *Reduca (Biología)*. Serie *Ecología*, **5**(1): 71-115.
- Martínez, D.D.; J. Jiménez, E. Alanís, J.I. Uvalle, P. Canizales, L. Rocha, 2014. "Regeneración natural del matorral espinoso tamaulipeco bajo una plantación de *Eucalyptus spp*". *Rev. mexicana cienc. for*, **21**(5): 94-107.
- Martínez, O.Y.; S. Castillo, M. Hernández, M. Guadarrama, y A. Orozco. 2012. "Seed rain after fire in a xerophytic shrubland". *Rev. mexicana de bio.*, **83**: 447-457.
- Magurran, A.E., 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Cambridge, Massachusetts. 256 pp.
- Menta, C., F.D. Contia, S. Pintoa, A. Leonia, y C. Lozano-Fondón, 2014. "Monitoring soil restoration in an open-pit mine in northern Italy". *Appl Soil Ecol*, **83**: 22-29.
- Middleton, E.L., y J.D. Bever, 2012. "Inoculation with a Native Soil Community Advances Succession in a Grassland Restoration". *Rest. Ecol.*, **20**(2): 218-226.
- Molina-Guerra, V.M.; M. Pando, E. Alanís, P. Canizalez, H. González, y J. Jiménez, 2013. "Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México". *Rev. mexicana cienc. pec.*, **4**(2): 361-373.

- Mora, C.A.; J. Jiménez, E. Alanís, E. Rubio, I. Yerena, y M.A. González, 2013. “Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco”. *Rev. mexicana cienc. for.*, 17(4): 124-137.
- Moreno C.E., 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Manual y tesis SEA. Editado por Cooperación Iberoamericana (CYTED), Unesco (Orcyt) y SEA. vol. 1. Pachuca, Hidalgo, México, 83 pp.
- Moreno, M.E., 2013. *Composición y diversidad vegetal de un área post-incendio en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, NL, México.
- Mueller-Dombois, D., y H. Ellenberg, 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley, Nueva York. 547 pp.
- Muñoz, U.A.; C. L. Romo, R.S.H. Contreras, y M.M. Huerta, 2006. “Vegetación secundaria como un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería a cielo abierto en la zona de amortiguamiento del bosque La Primavera”. *Memoria Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*. Universidad de Guadalajara, México, 409-415 pp.
- Ortega, N.B., 2012. “Asociación entre la fracción bioaccesible y la bioacumulación en algunas especies vegetales que crecen en el cauce del arroyo de San Pedro”. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 182 pp.
- Pequeño, L.M.; E. Alanís, J. Jiménez, M.A. González, I. Yerena, L.G. Cuellar, y A. Mora, 2012. “Análisis de la restauración pasiva pospecular en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México”. *Ciencia UAT*, 24(2): 48-53.
- Shannon, C.E., y Weaver, W., 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, EU, University of Illinois Press.
- Šálek, M., 2012. “Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity”. *J. appl ecol*, 49(6): 1417-1425.
- Sarmiento, T.I., 2013. “Composición y diversidad arbórea de dos sistemas pastoril-silvícolas en el matorral xerófilo del noreste de México”. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, NL, México.
- Society for ecological restoration (SER) International. 2004. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas.
- Van Andel, J., y L. Aronson, 2006. *Restoration Ecology*. Blackwell Publishing, UK.
- Van Andel, J., y J. Aronson, 2012. *Getting started, in restoration ecology: The new frontier*. 2nd ed. Eds J. van Andel and J. Aronson. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9781118223130.ch1.

Marroquín-Castillo, J.J. et al.: Composición florística y diversidad de área restaurada post-minería, matorral espinoso tamaulipeco

- Virah-Sawmy, M.; J. Ebeling, y R. Taplin, 2014. “Mining and biodiversity offsets: A transparent and science-based approach to measure ‘no-net-loss’”. *J. environ. manage.*, **143**: 61-70.
- Whittaker, R.H., 1972. “Evolution and measurement of species diversity”. *Taxon*, **21**: 213-251.
- Zahawi, R.A.; J.L. Reid, y K. D. Holl, 2014. “Hidden Costs of Passive Restoration”. *Restor. ecol.*, **22**(3): 284-287.
- Zhao, Z.; Z. Bai, Z. Zhang, D. Guo, J. Li, Z. Xu, y Z. Pan, 2012. “Population structure and spatial distributions patterns of 17 years old plantation in a reclaimed spoil of Pingshuo opencast mine, China”. *Ecol. eng*, **44**: 147-151.

Recibido: 29 septiembre 2014. Aceptado: 27 noviembre 2015.