

Estructura y diversidad de leñosas del matorral espinoso tamaulipeco en una reserva ecológica del noreste de México

Structure and floristic diversity of woody plants of the Tamaulipas Thornscrub in an ecological reserve in northeast Mexico

Ana María Patiño-Flores
Eduardo Alanís-Rodríguez*

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. Postal 41, CP 67700, Linares, Nuevo León, México.

Víctor Manuel Molina-Guerra
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. Postal 41, CP 67700, Linares, Nuevo León, México.
RENAC Asesorías Ambientales, S.A. de C.V., Calle Perlititas 127, Fraccionamiento las Glorias, CP 67710, Linares, Nuevo León, México.

Enrique Jurado
Humberto González-Rodríguez
Óscar Aguirre-Calderón

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. Postal 41, CP 67700, Linares, Nuevo León, México.

*Autor para correspondencia: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

Resumen

El matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México es de los ecosistemas más degradados por la acción humana. Una de las medidas implementadas para su protección es la creación de reservas ecológicas, las cuales, son áreas destinadas a la conservación de los ecosistemas y lo que en ellas se encuentre. En el presente estudio se busca conocer si los sitios de la reserva ecológica que han sido reforestados presentarán menor abundancia de individuos, cobertura, área basal y volumen de madera que el resto de la reserva. Se realizó un muestreo estratificado al azar para determinar la estructura y diversidad de la vegetación. Se determinaron 10 estratos (sitios), donde se establecieron parcelas rectangulares de 10 m × 20 m. En cada parcela se evaluaron los individuos leñosos con un diámetro basal > 3 cm y se les midió la altura total, diámetro basal y diámetro de copa. Para cada sitio se calculó el área basal, cobertura de copa, volumen maderable y diversidad, con estos valores se realizó un análisis de varianza (ANOVA), análisis de conglomerados WinTWINS y se determinó el índice de distribución vertical de especies (A). El sitio de mezquite-huizache presentó los valores más altos de área basal; el matorral de cenizo 2 presentó la mayor cobertura, mientras que la vegetación en un sitio reforestado hace seis años, presentó mayor área basal y volumen maderable que sitios de matorral maduro y matorral de cenizo. Se distinguen cuatro grupos en la clasificación de TWINSPAN. La distribución vertical registra dos estratos donde se encuentra una alta proporción de especies. Se acepta la hipótesis, ya que los sitios presentan diferencias en su estructura y diversidad, siendo los sitios reforestados con 2 y 4 años los que presentaron menor abundancia de individuos, cobertura, área basal y volumen maderable.

Palabras clave: Parcelas, clasificación, degradación, plantación, restauración.

Abstract

The Tamaulipas thorn scrub in northeastern Mexico is one of the ecosystems most degraded by human action. One of the measures implemented for its protection is the declaration of the creation of ecological reserves, which are areas destined for the conservation of ecosystems and what is found in them. This study seeks to know if the sites of the ecological reserve that have been reforested will present a lower abundance of individuals, cover, basal area and volume of wood than the rest of the reserve. Stratified random sampling was carried out to determine the structure and diversity of the vegetation. 10 strata (sites) were established, where sites with rectangular plots of 10 m × 20 m were established. Woody individuals with a basal diameter > 3 cm were evaluated in each plot and the total height, basal diameter and crown diameter were measured. In the data analysis for each site, the basal area, canopy cover, timber volume and diversity were calculated, with these values an analysis of variance (ANOVA), WinTWINS cluster analysis was performed and the vertical distribution index of species was determined. (A). Variables such as basal area, coverage, volume, diversity were determined, in addition to a WinTWINS cluster analysis, analysis of variance (ANOVA) as well as the vertical distribution index of species (A). The mesquite-huizache site presented the highest basal area values; the ash scrub 2 presented the highest coverage, while the vegetation in a site reforested six years ago, presented greater basal area and timber volume than mature scrub and ash scrub sites. Four groups are distinguished in the TWINSPAN classification. The vertical distribution registers two strata where a high proportion of species is found. The hypothesis is accepted, since the sites present differences in their structure and diversity, being the reforested sites with 2 and 4 years those that presented the lowest abundance of individuals, cover, basal area and timber volume.

Keywords: Sampling areas, classification, degradation, planting, restoration.

Introducción

En la actualidad, el inadecuado manejo de los recursos naturales ha puesto en riesgo el ambiente y la diversidad biológica del mundo (Miller *et al.*, 2008; Pliscoff *et al.*, 2019; Tilman *et al.*, 2017; Willis *et al.*, 2014). Para revertir el cambio de uso de suelo, se ha vuelto una tarea primordial la creación de reservas naturales o reservas ecológicas, las cuales son áreas de terreno exclusivamente destinadas para la protección de ecosistemas naturales y la biodiversidad que en ellos se encuentran (Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel [SEREPSA] 2008; Halffter 2011).

En el noreste de México uno de los ecosistemas más alterados por la actividad humana es el matorral espinoso tamaulipeco (MET), debido al potencial que presenta para actividades económicas como la minería, ganadería y agricultura; lo anterior ha generado un cambio considerable en su estructura y composición original (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2013; Mora *et al.*, 2013; Molina *et al.*, 2013). Para remediar la fragmentación del ecosistema se recomienda realizar actividades de restauración, donde una de las prácticas más recomendadas a nivel mundial es la plantación de especies de plantas leñosas (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010).

En el año 2010, en el municipio de Pesquería, Nuevo León (noreste de México) se estableció la reserva ecológica del Centro Industrial Ternium. Como muchas reservas ecológicas, presentaba superficies conservadas y otras degradadas; las zonas degradadas presentaban historial de uso pecuario, la superficie fue desmontada mediante maquinaria agrícola y después se estableció el pasto exótico *Pennisetum ciliare*. En estas áreas se realizaron reforestaciones utilizando especies de la región (Alanís *et al.*, 2016). Las acciones consistieron en cuatro fases: 1) delimitación del área afectada, 2) clasificación de la afectación, 3) técnicas de restauración y 4) monitoreo.

Si bien en la reserva se han realizado investigaciones para evaluar la supervivencia de especies en áreas restauradas (Alanís *et al.*, 2016), la estructura de una comunidad de la parte baja de la cuenca (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2017) y el carbono almacenado (Patiño *et al.*, 2019), aún se

desconoce la estructura y diversidad de todas las comunidades vegetales presentes. El objetivo de este estudio fue determinar la estructura (horizontal y vertical) y diversidad de la reserva ecológica. Se plantea que las áreas de la reserva que han sido reforestadas presentan menor abundancia de individuos, área de copa, área basal y volumen de madera que el resto de la reserva.

Materiales y Métodos

El área de estudio

El presente trabajo se realizó dentro de la Reserva Ecológica del Centro Industrial Ternium México, en el municipio de Pesquería, Nuevo León (Figura 1), la cual cuenta con una superficie de 99 ha, se ubica en las coordenadas 25°45'25" latitud Norte y 99°58'07" longitud Oeste; a una altitud de 306 m. El área registra un clima seco BSOhw según García (1988); la temperatura media anual es de 20°-22°C, y la precipitación anual es de 500 a 700 mm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] 1986). Los suelos presentes son castañosem, vertisol, leptosol, chernozem y fluvisol (INEGI 1986). La vegetación incluye asociaciones de matorral espinoso tamaulipeco (MET) en diferentes estados sucesionales y grados de disturbio, así como diferentes áreas donde se han realizado prácticas de restauración ecológica.

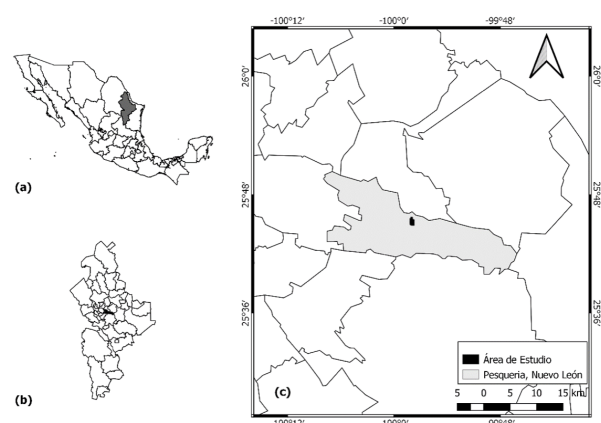


Figura 1. Mapa del área de estudio. a) Mapa de México indicando el estado de Nuevo León; b) Mapa de Nuevo León indicando el municipio de Pesquería; y c) Mapa de Pesquería, indicando el Reserva ecológica de Ternium.

Muestreo de la vegetación

En el verano de 2018 se realizaron recorridos preliminares en el área de estudio para distinguir diferencias en la topografía y composición de especies y estructura de la comunidad vegetal. A partir de la heterogeneidad de la comunidad vegetal, la orografía, historial de uso, composición de especies, la cobertura de la copa y la densidad de individuos, se definieron 10 estratos que se llamarán sitios. Siete sitios corresponden a vegetación establecida antes de que se declarara la reserva ecológica, de las cuales tres se encontraban con comunidades vegetales maduras (se nombraron matorral maduro 1, 2 y 3), y cuatro en regeneración después de disturbio (se nombraron matorral de cenizo 1, 2, 3 y Mezquite Huizache, por la dominancia de estas especies) y los tres restantes por sitios donde se desarrollaron actividades de reforestación con especies características del matorral. Los sitios donde se realizaron reforestaciones presentan antigüedad de 2, 4 y 6 años.

Se establecieron 10 parcelas rectangulares de 10 m x 20 m aleatoriamente cada uno de los 10 sitios (100 parcelas rectangulares en total). Se midieron todas las plantas leñosas con un diámetro basal >3 cm. A cada una se le midió la altura total (m), utilizando una vara telescópica Hastings E-15-1, diámetro basal (cm) con una forcípula Haglöf Mantax Blue 1270 mm, el cual se tomó a 0.10 m sobre el suelo y diámetro de copa (m) en sentidos N-S y E-O con un flexómetro de 1 m Truper. Las especies fueron identificadas mediante el manual de Molina-Guerra *et al.*, (2019).

Análisis de datos

El área basal (m²) y cobertura (m²) se determinaron mediante la ecuación 1:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (1)$$

Donde A es el área, π = un valor constante de 3.1416 y d = diámetro.

Para estimar el volumen de madera (m³) la fórmula utilizada fue la siguiente 2:

$$V = g \cdot h \cdot CM \quad (2)$$

Donde V es el volumen, g es la superficie supuesta circular del diámetro basal, h altura total del individuo y CM coeficiente mórfico, que para el matorral espinoso tamaulipeco es de 0.5 (Jiménez, 1990).

La diversidad se determinó mediante el índice de Shannon (H'), que mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran 1988, Baev y Penev 1995). Para calcularlo se utilizó el software PAST 4.0. Las fórmulas se describen a continuación 3, 4:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i) \quad (3)$$

$$p_i = n_i / N \quad (4)$$

Donde: S = número de especies presentes, N = número total de individuos, n_i = número de individuos de la especie i .

Además, se estimó la diversidad verdadera de orden 1 (ID) mediante el exponencial de Shannon (5) (Jost, 2006):

$$ID = \exp(\exp(H')) = \exp\left[\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)\right] \quad (5)$$

Donde p_i es abundancia relativa de la i -ésima especie y S es el número de especies.

Se realizó la clasificación de los 10 sitios utilizando el análisis de conglomerados WinTWINS (análisis de especies de indicador bidireccional, TWINSPAN) versión 2.3 (Hill y Šmilauer 2005). TWINSPAN permite clasificar los sitios muestreados por su composición de especies y elaborar una tabla bidireccional ordenada a partir de una matriz de especie por sitio que muestra las relaciones sincológicas de las especies.

Posterior a la verificación de los supuestos estadísticos de normalidad, homocedasticidad de las varianzas e independencia entre las observaciones, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con un criterio de clasificación (sitios) para las variables de abundancia, cobertura, área basal, volumen, riqueza de especies e índice de Shannon ($P \leq 0.05$). Como prueba Post Hoc se utilizó la prueba HSD de Tukey con un nivel de significancia de $P=0.05$. El programa estadístico utilizado fue SPSS versión 22.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EEUU).

Para determinar la estructura vertical de las especies, se utilizó el índice de distribución vertical de especies (A), el cual es una modificación del Índice de Shannon (Pretzsch, 2009). Este índice registra valores entre 0 y un valor máximo (A_{max}). Cuando $A = 0$ indica que una sola especie tiene presencia en un solo estrato. A_{max} se alcanza cuando la totalidad de las especies se encuentran en la misma proporción en el rodal y en los estratos (Pretzsch, 2009). En este índice, tres estratos se representan con base en la altura máxima registrada. Asimismo, se estimó el A_{rel} el cual indica que mientras más cercano sea el valor a 100%, todas las especies presentan una distribución equitativa en los tres estratos de altura.

El estrato I comprende las alturas que se encuentran en el rango del 80 al 100%, siendo el árbol más alto el 100%, y a partir de éste, se establecen las proporciones para los árboles subsiguientes; el estrato II representa las alturas del 50 al 80% de la altura total registrada, y el estrato III varía del 0 a 50% (Pretzsch, 2009). Las fórmulas utilizadas fueron (6, 7 y 8):

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln \ln p_{ij} \quad (6)$$

$$A_{max} = \ln \ln (S \cdot Z) \quad (7)$$

$$A_{rel} = \frac{A}{\ln \ln (S \cdot Z)} \cdot 100 \quad (8)$$

Donde S = número de especies presentes, Z = número de estratos en altura, P_{ij} = porcentaje de especies en cada zona y se estima mediante la siguiente ecuación: $p_{ij} = n_{i,j}/N$; donde $n_{i,j}$ = número de individuos de la misma especie (i) en la zona (j) y N = número total de individuos.

Resultados

Se registraron 26 especies correspondientes a 15 familias y 25 géneros (Cuadro 1). La familia más común fue Fabaceae con ocho géneros. La abundancia (Cuadro 2) difirió dentro de los 10 sitios estudiadas ($F = 14.224$, $gl= 9$, $P < 0.001$). El matorral de cenizo 2 fue el que presentó la mayor abundancia de individuos (4184 ± 41.17 N ha⁻¹). Las plantaciones de 6 años (895 ± 3.84 N ha⁻¹), 4 años (1040 ± 4.13 N ha⁻¹) y 2 años (680 ± 4.72 N ha⁻¹) quedaron agrupadas con los valores más

bajos de abundancia. La cobertura difirió entre las áreas estudiadas (Cuadro 2) ($F= 5.161$, $gl= 9$, $P < 0.001$) el matorral de cenizo 2 (15963.16 ± 339.78 m²·ha⁻¹) y el de mezquite-huizache (15848.38 ± 146.31 m²·ha⁻¹) presentaron los valores más altos, mientras que la plantación de 2 años fue la de menor valor (3545.16 ± 22.31 m²·ha⁻¹). El área basal difirió entre los tipos de vegetación (Cuadro 2) ($F= 3.871$, $gl= 9$, $P < 0.001$), el matorral de mezquite-huizache presentó el valor mayor (47.02 ± 2.13 m²·ha⁻¹) mientras que el menor valor lo obtuvo la plantación de 2 años (5.29 ± 0.05 m²·ha⁻¹). El volumen de madera (Cuadro 2) difirió entre los tipos de vegetación ($F= 3.312$, $gl= 9$, $P < 0.002$), los valores más altos ocurrieron en el matorral de mezquite-huizache (107.66 ± 5.06 m³·ha⁻¹) y los más bajos se registraron en el sitio de plantación de 2 años (8.41 ± 0.13 m³·ha⁻¹). La riqueza de especies (Cuadro 2) difirió entre los sitios muestreados ($F= 11.411$, $gl=9$, $P < 0.001$), el matorral maduro 2 y 3 presentaron la mayor riqueza de especies (10.40 ± 1.65 y 7.80 ± 2.530 , respectivamente) y la menor riqueza se registró en el matorral de mezquite-huizache (3.10 ± 0.74). Los índices de Shannon (H') (Cuadro 2) difirieron los sitios ($F= 3.258$, $gl=9$, $P= 0.002$) y tuvieron un valor promedio de 1.34; el matorral maduro 2 (1.77 ± 0.24) tuvo el mayor valor y el más bajo el matorral de mezquite-huizache (0.88 ± 0.25). La diversidad verdadera registró valores de 2.41 para el sitio de mezquite-huizache hasta 5.88 para el sitio de matorral maduro 2, en promedio se tiene una diversidad verdadera de 3.91.

Cuadro 1. Familia, nombre científico, nombre común y forma de vida de las especies registrada en el área de estudio.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
Asteraceae	<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Jarilla	Arbustivo
	<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less.	Escobilla	Arbustivo
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	Anacahuita	Arbóreo
	<i>Ehretia anacua</i> (Terán & Berland.) I.M. Johnst.	Anacua	Arbóreo
Cactaceae	<i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) F.M. Knuth	Tasajillo	Arbustivo
Cannabaceae	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	Arbustivo
Ebenaceae	<i>Diospyros texana</i> Scheele	Chapote	Arbóreo
Euphorbiaceae	<i>Bernardia myricifolia</i> (Scheele) S. Watson	Oreja de ratón	Arbustivo
	<i>Croton cortesianus</i> Kunth	Croton	Arbustivo
Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache	Arbóreo
	<i>Vachellia rigidula</i> Benth.	Chaparro prieto, gavia	Arbustivo
	<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray	Hierba del potro	Arbóreo
	<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst.	Palo verde	Arbóreo
	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	Ébano	Arbóreo
	<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele	Vara dulce	Arbóreo
	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Tenaza	Arbóreo
	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	Arbóreo
	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Mezquite	Arbóreo
	Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero
Passifloraceae	<i>Turnera diffusa</i> Willd.	Damiana	Arbustivo
Rhamnaceae	<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Coyotillo	Arbustivo
Rutaceae	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	Arbustivo
Sapotaceae	<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T.D. Penn.	Coma	Arbustivo
Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	Cenizo	Arbustivo
Simaroubaceae	<i>Castela erecta</i> Turpin	Crucillo	Arbustivo
Zygophyllaceae	<i>Guaiacum angustifolium</i> Engelm.	Guayacán	Arbustivo

Cuadro 2. Media (\pm desviación estándar, n=10) de la abundancia, cobertura, área basal, volumen, riqueza de especies e índice de Shannon de los sitios muestreados. Medias con letras diferentes, representan diferencias significativas entre las parcelas de acuerdo a la prueba de comparación de medias HSD de Tukey con un nivel P = 0.05.

Área de muestreo	Abundancia (N ha ⁻¹)	Cobertura (m ² ha ⁻¹)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Volumen de madera (m ³ ha ⁻¹)	Riqueza de especies (S)	Índice de Shannon (H')
Matorral maduro 1	1731 \pm 18.48 a.b	6718.82 \pm 49.51 a,b,c	7.23 \pm 0.07 a,b	16.21 \pm 0.22 a,b	7.63 \pm 3.11 c	1.36 \pm 0.58 a.b
Matorral maduro 2	2125 \pm 8.90 b,c	8566.42 \pm 110.16 a,b,c	16.45 \pm 0.18 a,	33.56 \pm 0.49 a,b	10.40 \pm 1.65 d	1.77 \pm 0.24 b
Matorral de cenizo 1	2070 \pm 14.14 b.c	5896.11 \pm 39.92 a,b	11.97 \pm 0.15 a,b	20.19 \pm 0.48 a,b	5.90 \pm 1.29 b.c	1.23 \pm 0.46 a.b
Matorral de cenizo 2	4189 \pm 41.17 d	15963.16 \pm 339.78 b,c	10.22 \pm 0.08 a,b	18.62 \pm 0.25 a,b	7.33 \pm 1.41 b.c	1.22 \pm 0.53 a.b.
Matorral maduro 3	3395 \pm 23.24 c.d	10212.80 \pm 108.77 b,c	18.10 \pm 0.22 b	37.43 \pm 0.57 b	7.80 \pm 2.53 c.d	1.27 \pm 0.51 a.b
Mezquite-Huizache	1960 \pm 11.94 a.b	15848.38 \pm 146.31 c	47.02 \pm 2.13 b	107.66 \pm 5.06 b	3.10 \pm 0.74 a	0.88 \pm 0.25 a
Matorral de cenizo 3	1385 \pm 19.99 a.b	5617.26 \pm 69.5 a,b	21.47 \pm 0.33 b	44.43 \pm 0.94 a,b	7.30 \pm 1.95 b.c	1.38 \pm 0.53 a.b
Plantación 6 años	895 \pm 3.84 a,b	4195.28 \pm 2224.29 b,c	18.81 \pm 0.28 b	42.24 \pm 0.89 b	6.00 \pm 0.67 b.c	1.63 \pm 0.17 b
Plantación 4 años	1040 \pm 4.13 a,b	5052.57 \pm 35.11 a,b	7.14 \pm 0.08 a,b	13.50 \pm 0.21 a,b	6.00 \pm 2.31 b.c	1.29 \pm 0.48 a.b
Plantación 2 años	680 \pm 4.72 a	3545.16 \pm 22.31 a	5.29 \pm 0.05 a	8.41 \pm 0.13 a	4.80 \pm 1.48 a.b	1.34 \pm 0.26 a.b

*Las letras indican diferencias significativas (P<0.05).

Con la clasificación de TWINSpan (Figura 2) se obtuvieron cuatro grupos: 1) sitio de plantación de 4 años donde las especies características son: *Caesalpinia mexicana*, *Ebenopsis ebano*, *Parkinsonia aculeata*, *Eysenhardtia texana*, *Zanthoxylum fagara* y *Havardia pallens*; 2) conformado por los sitios de matorral de cenizo 1, 2 y 3 y el sitio de matorral maduro 3, compartiendo especies como: *Leucophyllum frutescens*, *Baccharis salicifolia*, *Cylindropuntia leptocaulis*, *Forestiera angustifolia*, *E. texana*, *Karwinskia humboldtiana*, *Guaiaacum angustifolium*, *Turnera diffusa*, *Celtis*

pallida, *Diospyros texana* y *Vachellia farnesiana*; 3) agrupa los sitios de matorral maduro 1 y 2 representado por *Bernardia myricifolia*, *Castela erecta*, *E. ebano*, *Ehretia anacua*, *Gymnosperma glutinosum*, *Sideroxylum celastrinum*, *V. farnesiana*, *Prosopis glandulosa*, *Cordia boissieri* y *H. pallens*; 4) sitio de mezquite huizache y plantación de 2 y 6 años, con especies como *B. salicifolia*, *C. mexicana*, *E. anacua*, *P. aculeata*, *E. ebano*, *P. glandulosa* y *V. farnesiana*.

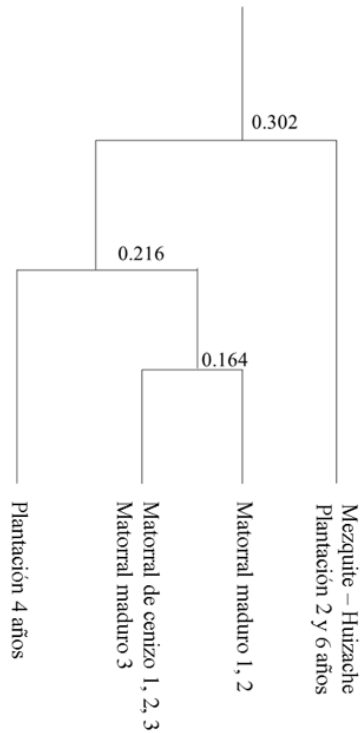


Figura 2. Dendrograma que muestra la clasificación de TWINSPAN.

En el cuadro 3 se muestran los resultados de la estructura vertical de las áreas evaluadas mediante el índice de Pretzsch. En general se presentó una diversidad estructural vertical de media a media-alta, dado que los valores obtenidos de A_{rel} oscilan entre 42.89% a 68.25%. Estos resultados indican que los sitios están conformados por al menos dos estratos y en ellos se encuentra una alta proporción de especies. Las especies presentes en el estrato I fueron: *Acacia farnesiana*, *A. rigidula*, *Baccharis salicifolia*, *Cercidium macrum*, *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Prosopis glandulosa* y *Yucca filifera*; en el estrato II se encuentran: *A. farnesiana*, *A. rigidula*, *B. salicifolia*, *Caesalpinia mexicana*, *Celtis pallida*, *C. macrum*, *Cordia boissieri*, *Croton cortesianus*, *Diospirus texana*, *E. ebano*, *Eysenhardtia texana*, *Habardia pallens*, *Leucophyllum frutesens*, *Parkinsonia aculeata*, *P. glandulosa*, *Y. filifera* y *Zanthoxylum fagara*; y en el estrato III se registraron: *A. farnesiana*, *A. rigidula*, *Agave lechuguilla*, *B. salicifolia*, *Bernardia myricaefolia*, *C. mexicana*, *Castela erecta*, *C. pallida*, *C. macrum*, *C. boissieri*, *C. incanus*, *Cylindropuntia leptocaulis*, *D. texana*, *E. ebano*, *Ehretia anacua*, *E. texana*, *Forestiera angustifolia*, *Guaiacum angustifolium*,

Guai Gymnosperma glutinosum, *H. pallens*, *L. frutescens*, *P. aculeata*, *P. glandulosa*, *Siderosylon celastrinum*, *Turnera difussa*, *Y. filifera* y *Z. fagara*. Las especies presentes en el estrato I se encuentran en los tres estratos

Cuadro 3. Índice de Pretzsch en las 10 parcelas.

Área de muestreo	Índice de Pretzsch			
	h_{max}	A	A_{max}	A_{rel}
Matorral maduro 1	9.10	2.61	4.09	63.71
Matorral maduro 2	8.07	2.47	3.87	63.75
Matorral de cenizo 1	8.00	1.60	3.74	42.89
Matorral de cenizo 2	7.15	2.17	3.87	56.11
Matorral maduro 3	8.17	2.53	3.87	56.11
Mezquite-Huizache	6.45	1.85	2.71	68.25
Matorral de cenizo 3	7.51	1.79	3.93	45.42
Plantación 6 años	7.09	2.15	3.18	67.67
Plantación 4 años	6.40	2.31	3.58	64.35
Plantación 2 años	5.00	2.39	3.66	65.14

Altura máxima (h_{max}), Índice de Pretzsch (A), valor máximo (A_{max}) y valor relativo (A_{rel})

Discusión

La abundancia de la vegetación analizada presentó valores entre 680 a 4189 N ha⁻¹. Las áreas donde se realizaron plantaciones como parte de la restauración fueron las que presentaron menor abundancia, pero aun así presentan una densidad de plantación común con individuos espaciados a una distancia promedio de 4 m (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR] 2010). Las abundancias registradas en los matorrales maduros de esta investigación son similares a las registradas por otros autores, como Mora *et al.*, (2013) quienes evaluaron una comunidad madura del MET y Jiménez *et al.*, (2013) que evaluaron comunidades perturbadas con 21 años de regeneración natural. Los valores de cobertura de los sitios sin tratamiento de restauración oscilaron entre 5617 y 15963 m²·ha⁻¹, siendo el matorral maduro 1 (6718 m²·ha⁻¹), matorral de cenizo 1 (5896 m²·ha⁻¹) y el matorral de cenizo 3 (5617 m²·ha⁻¹) los que presentaron los menores valores. Similares coberturas han sido reportadas por Graciano *et al.*, (2018) (6343 m²·ha⁻¹) quienes evaluaron una comunidad vegetal del matorral con historial de incendio de copa, así como por Pequeño *et al.*, (2012) (6844 m²·ha⁻¹) que evaluaron una comunidad vegetal del matorral con historial

pecuario. El valor más alto ($15963 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) en el matorral de cenizo 2, es aún superior a lo registrado por Mora *et al.*, (2013) ($13973 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) que evaluaron una comunidad vegetal madura del matorral sin disturbio y por Sarmiento *et al.*, (2019) ($9521 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) quienes caracterizaron la vegetación leñosa de una comunidad del matorral con actividad agroforestal. Los valores reportados en esta investigación muestran que las coberturas de copa de la vegetación estudiada son similares a comunidades vegetales con historial de disturbio, lo cual indica que en esta área también se practicaron actividades productivas, que de acuerdo a los indicios registrados en el área fue actividad pecuaria de caprinos (*Capra aegagrus hircus*).

Las plantaciones de 2 y 4 años registran los valores de área basal más bajos de 5.29 y $7.14 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, por debajo de los reportados por Leal *et al.*, (2018) quienes registran para especies leñosas del MET un área basal de $13.76 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$.

La plantación de 6 años registró un área basal superior a $18.81 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ lo que indica el potencial que tienen las especies para establecerse en el sitio y desarrollarse. El matorral de mezquite huizache presentó los valores más altos con $47.02 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ dado el gran porte que presentan los individuos sobrepasando lo reportado por Graciano *et al.*, (2017) quienes para un bosque templado registraron $23.54 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$.

Los valores obtenidos en volumen maderable de matorral de cenizo 1 y 2 así como el matorral maduro 1 están por debajo a los reportados por Leal *et al.*, (2018) quienes estiman $26.74 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ para especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco. La plantación de 6 años registró un volumen maderable superior al de los sitios de cenizo y valores entre los reportados en el matorral maduro. El matorral de mezquite-huizache fue el más alto con $107.66 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, presenta valores similares a los encontrados por Valenzuela *et al.*, (2012) de $106.89 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ para un área comercial de mezquite.

En general los resultados para riqueza de específica fueron inferiores y similares a los reportados Jiménez *et al.*, (2013) quienes evaluaron áreas con historial de ganadería extensiva (18.7), matarrasa (15.0), agricultura (11.0) y ganadería intensiva (4.7).

La reserva ecológica presentó una diversidad de Shannon

baja ya que sus valores son menores a 2, el valor más alto lo registró el matorral maduro 2 con un valor de H' de 1.77, valor inferior a lo reportado por Jiménez *et al.*, (2012) ($H' = 2.27$) para matorral espinoso tamaulipeco y por Mora *et al.*, 2013 ($H' = 1.94$) para la misma comunidad. El matorral de mezquite-huizache obtuvo un valor de H' de 0.88 estando por debajo de $H' 2.28$ registrado por Alanís *et al.*, (2017) para una comunidad vegetal dominada por *Prosopis* sp. A pesar de contar con valores de área basal y volumen superiores a los reportados en otros estudios, las comunidades vegetales no presentan una riqueza específica, o diversidad de Shannon alta o cercana a otros estudios para la misma comunidad vegetal. Los individuos de las especies presentes en la vegetación estudiada registran abundancia y porte alto, con diámetros, alturas y copas correspondientes a individuos adultos, dando valores altos para variables como área de copa, área basal y volumen.

El matorral maduro 1 y 2 tuvieron el mayor número de especies (15). El matorral de cenizo junto con el matorral maduro 3 presentaron mayor densidad de *L. frutescens*. Estas áreas se encuentran en la parte alta de la cuenca, donde la zona es más abierta. El matorral de mezquite-huizache y la plantación de seis y 2 años se agruparon por la alta densidad de *P. glandulosa*. Especies como *L. frutescens*, *P. glandulosa* y *A. farnesiana* son dominantes en los matorrales del norte del país (INEGI, 2002; Estrata *et al.*, 2004) de ahí que fueron las especies clave para diferenciar los diferentes sitios evaluados dentro de la reserva ecológica.

En el índice de distribución vertical (A), las alturas máximas oscilan entre 5 a 9.10 m. De acuerdo a los valores de A_{max} y A_{rel} se presentan valores menores a los registrados por Sarmiento *et al.*, (2019) con A_{max} de 3.93 y A_{rel} de 73% para una comunidad con actividad agroforestal en el matorral espinoso tamaulipeco, pero valores similares a Mora *et al.*, (2013) con un A_{max} de 3.08 y A_{rel} de 53.8% para un matorral desértico micrófilo. El matorral de mezquite-huizache es el que presenta el valor de A_{rel} mayor con 68.25%, indicando una diversidad estructural media en los estratos de altura de esta comunidad. En general estos resultados indican que las áreas evaluadas en el estudio presentan dos estratos de altura (medio y bajo) bien definidos y uno (estrato alto) con pocos individuos y especies.

Conclusiones

Después de evaluar la vegetación de la reserva se encontró que el sitio con plantación de 6 años presenta un área basal, volumen y riqueza de especies superior a los sitios de matorral de cenizo y una de las de mayor diversidad H' . Se identifican dos estratos en altura (bajo y medio) con la mayoría de las especies y una alta densidad de individuos, mientras que el estrato alto registra pocos individuos y especies. De acuerdo a los resultados mostrados se acepta la hipótesis de que las áreas de la reserva que han sido plantadas con 2 y 4 años presentarán menor abundancia, cobertura, área basal y volumen maderable que el resto de la reserva. El matorral de mezquite-huizache registró los valores más altos de área basal y volumen dado a las dimensiones de *Prosopis glandulosa*.

Literatura citada

- Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, Pando-Moreno M, Aguirre-Calderón OA, Treviño-Garza EJ, y Canizales-Velázquez PA. 2010. Caracterización de la diversidad arbórea en áreas restauradas post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México. *Acta Biológica Colombiana* 15(2): 309-324. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1641159>
- Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, González-Tagle MG, Yerena-Yamallel JY, Cuellar-Rodríguez G, y Mora-Olivo A. 2013. Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton* 82(2): 185-191. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v7i1.39>
- Alanís E, Molina VM, Rechy L, Alcalá AG, Marín JD y Pequeño MA. 2016. Composición, diversidad y supervivencia de un área restaurada en el complejo siderúrgico de Ternium, Pesquería, Nuevo León. En E. Ceccon & C. Martínez. (Coord.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* (pp. 255-272). Morelos, México: UNAM-Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UAEM-CONABIO. <https://doi.org/10.22201/crim.9786070294778e.2017>
- Alanís-Rodríguez E, Molina-Guerra VM., Jiménez-Pérez J, Rubio-Camacho EA, Mora-Olivo A, Chávez-Costa AC & Marroquín-Castillo JJ. 2017. Composition, structure and diversity of a mesquite in Pesquería (Northeastern Mexico). *Revista Chilena de Historia Natural* 90: 4. <https://doi.org/10.1186/s40693-017-0066-1>
- Baev PV y Penev LD. 1995. BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis. Versión 5.1. Pensoft, Sofia-Moscow, 57 pp.
- CONAFOR. 2010. *Prácticas de reforestación. Manual Básico*. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 64 pp.
- García E. 1988. *Climas (clasificación de Köppen, modificado por García)*. Escala, 1(1). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- <https://doi.org/10.32800/abc.2019.42.0187>
- Graciano AG, Alanís E, Aguirre O, Rubio E y González M. 2018. Estructura y diversidad postincendio en un área del matorral espinoso tamaulipeco. *Polibotánica*. 45: 89-100. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.7>
- Graciano G, Aguirre OA, Alanís E, y Lujan JE. 2017. Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4(12): 535-542. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Halfpeter G. 2011. Reservas de la biósfera: problemas y oportunidades en México. *Acta Zoológica Mexicana* 27(1): 177-189. <https://doi.org/10.21829/azm.2011.271743>
- Hill MO, Šmilauer P. 2005. *TWINSPAN for Windows Version 2.3*. Huntingdon, UK: Centre for Ecology and Hydrology & University of South Bohemia.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1986. *Síntesis Geográfica de Nuevo León*. México, D. F., México. Secretaria de Programación y Presupuesto. INEGI. México, D.F., México. 170 p. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-05>
- Jiménez J. 1990. Aplicación de un modelo matemático para elaborar tablas y tarifas de volumen. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus*. Reporte Científico No. 16. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. 48 pp. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.047>
- Jiménez J, Alanís E, Ruiz JL, González MA, Yerena JI, y Alanís GJ. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL* 15(2): 66-71. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v7i1.39>
- Jiménez J, Alanís E, González MA, Aguirre OA & Treviño EJ. 2013. Characterizing regeneration of woody species in areas with different land-history tenure in the Tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 58(3): 299-304. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-58.3.299>
- Leal-Elizondo NA, Alanís-Rodríguez E, Mata-Balderas JM, Treviño-Garza EJ y Yerena-Yamallel JI. 2018. Estructura y diversidad de

- especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco regenerado postganadería en el noreste de México. *Polibotánica*, 45: 75-88. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.6>
- Magurran AE. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Miller S, Muir-Wood R and Boissonnade A. 2008. An exploration of trends in normalized weather-related catastrophe losses. In *Climate Extremes and Society*. Editores Diaz HF and Murnane RJ. Cambridge. UK. Cambridge University Press. 225–347 pp. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511535840.015>
- Molina-Guerra VM, Pando-Moreno M, Alanís-Rodríguez E, Canizales-Velázquez PA, González Rodríguez H y Jiménez-Pérez J. 2013. Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4(3): 361-371. <https://doi.org/10.21829/abm110.2015.187>
- Mora CA, Alanís E, Jiménez J, González MA, Yerena JI y Cuellar LG. 2013. Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada* 12(1): 29-34. <https://doi.org/10.21704/rea.v12i1-2.435>
- Moreno CE. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza, M&T-Manuales y Tesis SEA. v.1, p.84.
- Patiño AM, Alanís E, Molina VM, González H, Jurado E y Aguirre OA. 2019. Almacenamiento de carbono en la Reserva Ecológica de Ternium, Pesquería. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(54): 39-57. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.498>
- Pliscoff, P, Simonetti J, & Asmussen M. 2019. Protocolo para la evaluación del riesgo de colapso de los ecosistemas: Caso de estudio del bosque espinoso (espinal) en la zona central de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (73): 29-56. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022019000200029>
- Pequeño-Ledezma MA, Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, González-Tagle MA, Yerena-Yamallel JI, Cuellar-Rodríguez LG y Mora-Olivo A. 2012. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Ciencia UAT* 24(2): 48–53. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v7i1.39>
- Pretzsch, H. 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 664 pp.
- Sarmiento-Muñoz T, Alanís-Rodríguez E, Mata-Balderas J y Mora-Olivo A. 2019. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa en un área de matorral espinoso tamaulipeco con actividad pecuaria en Nuevo León, México. *Ciencia UAT* 14(1): 31-44. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1001>
- SEREPSA. 2008. *Manual de Procedimientos. Programa de Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. Secretaría Ejecutiva REPSA, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM, México, 108 p. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.2.486>
- SPSS. 1976. *Statistical Package for the Social Sciences*. Chicago, IL, USA.
- Tilman D, Clark M, Williams, DR, Kimmel K, Polasky S, Packer, C. 2017. Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 546:73-81. <https://doi.org/10.1038/nature22900>
- Valenzuela LM, Trucios R, Rivera M, y Ríos JC. 2012. Distribución y características ecológicas y dasométricas del mezquital en san juan de Guadalupe, Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* XI (2): 95-100.
- Willis KJ, Marcia-Fauria M, Gasparatos A and Long P. 2014. Identifying and Mapping Biodiversity: Where Can We Damage? En: *The Economics of Biodiversity. Nature in the Balance*. Editores Helm, D. and Hepburn C. Oxford. U.K. Oxford University Press. 57-78 pp. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199676880.003.0004>