

Análisis de la regeneración natural en un área restaurada de 11 años en el matorral espinoso tamaulipeco

Analysis of natural regeneration in an 11-years old restored area in the tamaulipan thornscrub

Alejandro Alcalá-Rojas¹  • Eduardo Alanís-Rodríguez¹  • Oscar Aguirre-Calderón¹  • Gerardo Cuellar-Rodríguez¹ 
 • Israel Yerena-Yamellel¹  • Cristian A. Martínez-Adriano¹  • Rufino Sandoval-García² 

Recibido: 25/10/2024

Aceptado: 09/12/2024

Abstract

Natural regeneration assessment is important to determine the reestablishment of the plant community in plantations for ecological restoration purposes. This work evaluated the structure of natural plant regeneration in an 11-year-old plantation in the tamaulipan thorn scrub. A total of 25 plots of 10 x 10 m each was established in a systematic way, where planted and naturally regenerated plant community was evaluated. We compared abundance, dominance, frequency, volume and importance value index (IVI) per plant community. A total of 35 species, 28 genera and 16 families were recorded. The family with the highest number of species was Fabaceae with 14. In the reforested plant community, 20 species were recorded, while in the naturally regenerated community 29 were recorded, with 14 species shared between them. The four species with the highest abundance, basal area, crown area and importance value index in the plantation were *Neltuma glandulosa*, *Vachellia farnesiana*, *Cordia boisseiri* and *Leucophyllum frutescens*. They also showed the highest IVI in the natural regeneration. Abundance (N/ha) was similar between the plant communities evaluated ($p=0.99$), while specific richness, basal area (m^2/ha), crown area (m^2/ha) and volume (m^3/ha) were higher in the plantation. Regarding beta diversity, the plant communities share 39.96 % of the species.

Keywords: Fabaceae, importance value index, *Leucophyllum frutescens*, *Neltuma glandulosa*, plantation, restoration.

1. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura y Manejo Forestal, Linares, México. aalcala2368@gmail.com, eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx, oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx, luis.cuellar@uanl.mx, israel.yerena@gmail.com, cristian.martinez.cama@gmail.com
2. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal, Saltillo, Coahuila, México. rufino.sandoval.garcia@gmail.com

Resumen

La evaluación de la regeneración natural en plantaciones con fines de restauración ecológica es importante para determinar el restablecimiento de la comunidad vegetal. Este trabajo evaluó la estructura de la regeneración vegetal natural en una plantación con 11 años en el matorral espinoso tamaulipeco. Se establecieron 25 parcelas de 10 x 10 m, distribuidas de manera sistemática, donde se evaluaron la comunidad vegetal plantada y regenerada naturalmente. Se estimó la abundancia, dominancia, frecuencia, volumen e índice de valor de importancia (IVI) por comunidad vegetal, mismas que se compararon mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney. La similitud entre las comunidades vegetales se obtuvo utilizando el índice de Morsista Horn. Se registraron 35 especies, 28 géneros y 16 familias. La familia con mayor número de especies fue Fabaceae con 14. En la comunidad vegetal reforestada se registraron 20 especies, mientras en la regenerada naturalmente 29, compartiendo 14 especies. Las cuatro especies que presentaron mayor abundancia, área basal, área de copa e índice de valor de importancia en la plantación (*Neltuma glandulosa*, *Vachellia farnesiana*, *Cordia boissieri* y *Leucophyllum frutescens*), también fueron las que presentaron mayor IVI en la regeneración natural. La abundancia (N/ha) fue similar entre las comunidades vegetales evaluadas ($p=0.99$), mientras la riqueza específica, área basal (m^2/ha), área de copa (m^2/ha) y volumen (m^3/ha) fueron mayores en la plantación. Referente a la diversidad beta, las comunidades vegetales comparten un 39.96 % de especies.

Palabras clave: Fabaceae, índice de valor de importancia, *Leucophyllum frutescens*, *Neltuma glandulosa*, plantación, restauración.

Introducción

La restauración ecológica es el proceso de asistir en la recuperación de un ecosistema dañado, degradado o destruido [1], [2]. Los proyectos en este ámbito incluyen esfuerzos dirigidos a la conservación del hábitat, la biodiversidad y los ecosistemas [3]. La relevancia de estas iniciativas ha sido reconocida internacionalmente, como lo demuestra la designación del período 2021-2030 por la Asamblea General de las Naciones Unidas como el Decenio de la Restauración de los Ecosistemas [4]. Este esfuerzo global busca prevenir, detener y revertir la degradación ambiental, contribuyendo de manera significativa al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [5].

Entre las actividades más relevantes en los proyectos de restauración ecológica se puede destacar la plantación de árboles y arbustos nativos [6]. Estas

especies proporcionan estructura y refugio a una variedad de organismos, creando un entorno más complejo que favorece el retorno de especies de flora y fauna nativa [7]. A través de la plantación, se pretende que el ecosistema recupere las condiciones necesarias para facilitar la regeneración natural [2]. Este proceso de regeneración natural es esencial para el crecimiento y la supervivencia de las especies, constituyendo un aspecto crucial dentro del ciclo vital de las plantas [8]. Además, la estructura vegetal del estrato alto influye en la dispersión de semillas y en las condiciones ambientales [9], [7], lo que también puede repercutir tanto en la abundancia como en la riqueza de especies que se presentan en la regeneración natural [8]. [10] observaron que la dinámica en la regeneración natural de leñosas (previa a eventos de perturbación) en fragmentos abandonados de matorral espinoso tamaulipeco con diferentes edades, se ve afectada fuertemente por el tiempo de abandono. Observaron que las especies con alto índice de valor de importancia (IVI) en estadios iniciales de sucesión ecológica no tienen la misma importancia (o incluso pueden no estar presentes) en estadios de sucesión tardía.

En los últimos años, se han desarrollado investigaciones que evalúan la regeneración natural de especies leñosas en proyectos de restauración ecológica en el matorral espinoso tamaulipeco [8], [11]. No obstante, la información disponible sobre este tema sigue siendo limitada, ya que las evaluaciones se han centrado en plantaciones jóvenes (menores de cinco años), dejando un vacío en el análisis de plantaciones con un período de establecimiento más prolongado. El presente estudio tiene como objetivo determinar la estructura vegetal de la regeneración natural en una plantación de 11 años en el matorral espinoso tamaulipeco. En particular, se plantearon las siguientes preguntas: ¿las principales especies regeneradas son aquellas que presentan un mayor índice de valor de importancia en la plantación? ¿Existen diferencias en la abundancia, la riqueza específica, el área basal, el área de copa y el volumen entre la plantación y la vegetación regenerada naturalmente? ¿Cuál es la similitud de la composición vegetal entre la plantación y la vegetación regenerada naturalmente?.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio es un área restaurada de 18.7 ha, ubicada en el municipio de Pesquería, Nuevo León, México, en las coordenadas 25°45'25" latitud Norte y 99°58'07" longitud Oeste, a una altitud de 330 msnm. El clima se clasifica como seco-semicálido (BWhw), el tipo de suelo es vertisol pélvico [12]. La vegetación es matorral espinoso tamaulipeco y mezquital [8].

El área de estudio tiene historial de uso agrícola. Se cultivó avena, trigo y maíz durante aproximadamente dos décadas (1989-2009). Los cultivos se sembraron de forma rotativa y se regaban por gravedad mediante un canal de agua aledaño. Las actividades de siembra y cosecha se realizaban con un tractor agrícola. Del año 2009 al 2013 estuvo el área sin actividad agrícola [13]. En 2013, se llevó a cabo un proyecto de restauración ecológica que consistió en la exclusión del área, la remoción de pastos exóticos y la plantación de árboles y arbustos nativos del matorral espinoso tamaulipeco provenientes de viveros locales. Durante los primeros tres años (2013-2015), se realizó la sustitución de plantas muertas y la remoción periódica de pastos para evitar la competencia [14]. La plantación se efectuó utilizando un sistema de plantación a tresbolillo (triangular), con una distancia de 3 m entre individuos, lo que resultó en una densidad de plantación de 1111 plantas por hectárea.

Trabajo de campo

En marzo de 2024 se establecieron 25 parcelas cuadradas de 10 x 10 m (100 m² c/u), distribuidas de manera sistemática, con una equidistancia de 70 m. La intensidad de muestreo fue mayor al 1 % como se sugiere [15]. En cada parcela se evaluaron tanto las especies arbóreas y arbustivas que fueron plantadas, como las arbóreas, arbustivas y herbáceas que regeneraron naturalmente. Los individuos plantados y regenerados se diferenciaron en campo por que los plantados presentan una distribución bien definida de tresbolillo (triangular), con una distancia de 3 m entre individuos. A cada individuo se le midió la altura total, la cobertura de copa (N-S y E-O) y el diámetro basal a 10 cm. La identificación de las especies vegetales se realizó con el libro plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México [16] y se verificó la nomenclatura taxonómica en la página de Trópicos [17].

Análisis de la información

Se estimó la abundancia absoluta con la ecuación 1.

$$A_i = \frac{N_i}{S} \quad (1)$$

Donde: A_i es la abundancia absoluta de la especie i ; N_i es el número de individuos de la especie i ; S el área del sitio de muestreo (m²)

Se calculó la abundancia relativa de las especies mediante la ecuación 2.

$$AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum A_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde: AR_i es la abundancia relativa de la especie i $\sum A_i$ es la abundancia total de especies [18].

Para estimar la dominancia, se extrapola el área basal por hectárea (G ha⁻¹) de cada especie. La dominancia absoluta se definió con la ecuación 3.

$$D_i = \frac{AB_i}{S} \quad (3)$$

Donde: D_i es la dominancia absoluta de la especie i ; AB_i es el área basal de la especie i ; S el área del sitio de muestreo.

La dominancia relativa se calculó mediante la ecuación 4.

$$DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum D_i} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde: DR_i es la dominancia relativa de la especie i ; $\sum D_i$ es la dominancia total de las especies.

Por último, la frecuencia relativa se obtuvo con la ecuación 5.

$$FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum F_i} \right) \times 100 \quad (5)$$

Donde: FR_i fue la frecuencia relativa de la especie i ; F_i el número de sitios donde estuvo presente la especie i $\sum F_i$ la frecuencia total de todas las especies [19], [18]

Así, el índice de valor de importancia (IVI) por especie (i) se calculó con la ecuación 6 [20].

$$IVI = \left(\frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3} \right) \quad (6)$$

El volumen por individuo se estimó mediante la ecuación 7.

$$V = g \times h \times CM \quad (7)$$

Donde: V es el volumen; g la sección circular supuesta del diámetro del tallo ($d_{0.10}$); h es la altura total del individuo

CM es el coeficiente mórfico. El valor de CM para el matorral espinoso tamaulipeco es una constante de 0.5 [15].

Se compararon las variables abundancia, riqueza de especies, área basal, área de copa y volumen entre los sitios de regeneración y la plantación forestal con la prueba no paramétrica U de Mann Whitney [21], [22], [23], debido a que las variables no cumplieron con los supuestos requeridos para analizarse con pruebas paramétricas. Se elaboraron gráficos de violín para contrastar visualmente cada variable entre los sitios de estudio, los cuales, además, permiten observar la distribución de los datos dentro de cada tratamiento. Los análisis de comparación y los gráficos de violín fueron elaborados en el software R ver. 4.0.2. [24] con ayuda del paquete ggplot2 ver. 3.3.5 [25]. Para estimar la similitud entre las comunidades vegetales (diversidad

Cuadro 1. Abundancia, área basal (AB), área de copa (AC), frecuencia, volumen e índice de valor de importancia (IVI) de las especies plantadas y regeneradas naturalmente.

Table 1. Abundance, basal area (AB), crown area (AC), frequency, volume and importance value index (IVI) of the planted and the naturally regenerated species.

Especies	Plantación						Regeneración					
	Abund.	AB	AC	Frec.	Vol.	IVI	Abund.	AB	AC	Frec.	Vol.	IVI
	N ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹	sitios	m ³ ha ⁻¹		N ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹	sitios	m ³ ha ⁻¹	
<i>Abutilon incanum</i>							4	0,01	0,25	1	0,00	0,47
<i>Aloysia gratissima</i>							17	0,01	9,46	4	0,00	2,11
<i>Caesalpinia mexicana</i>	4	0,02	11,20	1	0,02	0,52						
<i>Calceolaria thyrsoiflora</i>							4	0,00	4,71	1	0,00	0,59
<i>Celtis pallida</i>	29	0,13	62,80	3	0,15	2,18	54	0,26	33,88	6	0,11	4,31
<i>Cirsium texanum</i>							163	0,00	38,97	5	0,00	6,46
<i>Clematis drummondii</i>							4	0,00	1,56	1	0,00	0,51
<i>Condalia hookeri</i>	4	0,00	1,74	1	0,00	0,48						
<i>Cordia boisseiri</i>	146	0,87	764,31	14	1,18	12,49	88	0,34	135,77	11	0,39	9,55
<i>Croton cortesianus</i>	4	0,13	2,23	1	0,06	0,48						
<i>Croton torreyanus</i>	13	0,12	21,88	3	0,10	1,52	38	0,14	7,29	5	0,03	2,89
<i>Ebanopsis ebano</i>	58	0,22	248,20	8	0,30	5,59	4	0,00	1,18	1	0,00	0,50
<i>Ehretia anacua</i>							25	0,01	12,26	2	0,01	1,62
<i>Eysenhardtia texana</i>	4	0,00	1,77	1	0,00	0,48	25	0,04	25,47	2	0,02	1,96
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	4	0,01	2,09	1	0,01	0,48	25	0,00	19,02	2	0,00	1,79
<i>Forestiera angustifolia</i>	4	0,00	1,38	1	0,00	0,48						
<i>Guaiaacum officinale</i>							4	0,00	0,61	1	0,00	0,48
<i>Gymnosperma glutinosum</i>							8	0,01	14,23	2	0,01	1,30
<i>Havardia pallens</i>	79	0,39	321,34	5	0,72	5,47	17	0,00	3,41	1	0,00	0,83
<i>Karwinskia humboldtiana</i>							8	0,00	1,09	1	0,00	0,59
<i>Lantana camara</i>							8	0,00	9,09	2	0,00	1,17
<i>Leucophyllum frutescens</i>	158	2,37	574,16	10	3,78	10,64	879	1,37	153,60	16	0,40	29,33
<i>Neltuma glandulosa</i>	333	1,20	2055,91	10	2,02	22,16	38	0,67	79,34	6	0,86	5,12
<i>Neltuma juliflora</i>	25	0,41	422,25	3	1,27	3,60	4	0,12	79,86	1	0,37	2,52
<i>Neltuma laevigata</i>	42	0,28	368,49	4	0,52	4,21	4	0,04	82,47	1	0,09	2,59
<i>Opuntia ficus-indica</i>							8	0,00	0,03	1	0,00	0,56
<i>Parkinsonia aculeata</i>	42	0,26	449,88	5	0,63	4,91	21	0,13	160,89	5	0,27	6,48
<i>Parkinsonia texana</i>	4	0,03	21,28	1	0,06	0,57	4	0,02	59,53	1	0,04	2,00
<i>Sideroxylon celastrinum</i>							8	0,04	17,53	1	0,02	1,01
<i>Vachellia constricta</i>							8	0,02	27,67	2	0,03	1,65
<i>Vachellia farnesiana</i>	129	1,44	2278,72	16	3,93	19,19	25	0,19	308,03	5	0,33	10,36
<i>Vachellia rigidula</i>	25	0,09	93,98	3	0,15	2,19						
<i>Verbena bonariensis</i>							13	0,00	1,57	1	0,00	0,69
<i>Zanthoxylum fagara</i>	21	0,13	74,87	4	0,16	2,34	4	0,66	5,11	1	0,84	0,60
Total	1129	8,09	7778,49	95	15,07	100	1513	4,09	1293,87	89	3,84	100

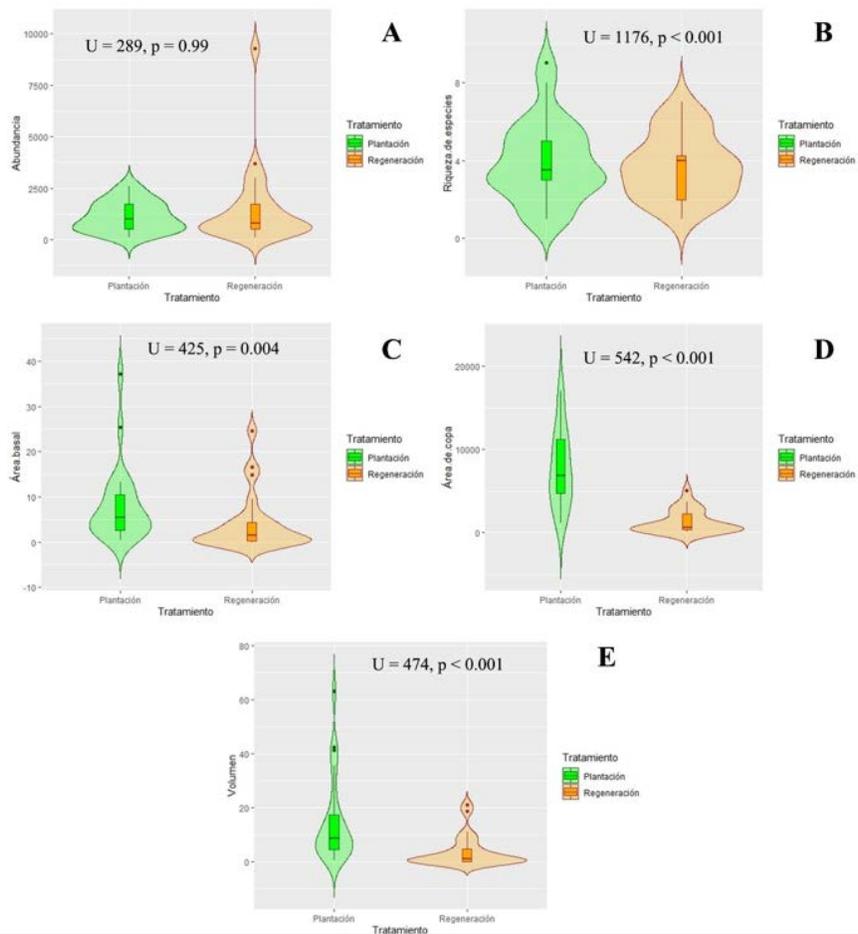


Figura 1. Abundancia (N/ha), riqueza específica (número de especies en el sitio de muestreo), área basal (m²/ha), área de copa (m²/ha) y volumen (m³/ha) de la comunidad vegetal plantada y regenerada naturalmente.

Figure 1. Abundance (N/ha), specific richness (number of species at the sampling site), basal area (m²/ha), crown area (m²/ha) and volume (m³/ha) of the planted and the naturally regenerated plant community.

beta) se estimó el índice de Morisita Horn [26].

Resultados

Se registraron 34 especies, 27 géneros y 16 familias. Los dos géneros que presentaron tres especies fueron *Neltuma* y *Vachellia*. La familia con mayor número de especies fue Fabaceae con 14. En la comunidad vegetal reforestada se registraron 20 especies, mientras en la regenerada naturalmente 29 y compartieron 14 (Cuadro 1).

Las cuatro especies que presentaron mayor abundancia, área basal, área de copa e índice de valor de importancia en la plantación fueron *Neltuma glandulosa*, *Vachellia farnesiana*, *Cordia boissieri* y *Leucophyllum frutescens*. También fueron las especies que presentaron mayor IVI en la regeneración natural. En la plantación, la especie que presentó mayor IVI fue *Neltuma glandulosa* (con

un IVI = 22,16 %), mientras que en la comunidad regenerada fue *Leucophyllum frutescens* (IVI = 29,33 %) (Cuadro 1). Cuatro especies que fueron plantadas no presentaron regeneración (*Caesalpinia mexicana*, *Condalia hookeri*, *Croton cortesianus* y *Forestiera angustifolia*). De las 29 especies que regeneraron 15 no se encuentran en la plantación, de las cuales cinco son herbáceas, cinco arbustivas, cuatro arbóreas y una suculenta.

La abundancia (N/ha) fue similar (p = 0,99) entre las dos comunidades vegetales evaluadas, mientras la riqueza específica, área basal (m²/ha), área de copa (m²/ha) y volumen (m³/ha) fueron mayores en la plantación (p < 0,05) (Figura 1). Referente a la diversidad beta, las comunidades vegetales compartieron 39,96 % de las especies vegetales.

Discusión

La familia con mayor presencia en la plantación y la comunidad regenerada fue la Fabaceae. Esta familia también ha sido reportada como la mejor representada por diversas investigaciones realizadas en el matorral espinoso tamaulipeco [27], [28], [29], [8], [10], en estos estudios se ha resaltado que en las comunidades vegetales regeneradas (después de actividades productivas), el nitrógeno del suelo disminuye, lo que favorece la llegada de especies capaces de establecerse en suelos pobres de este elemento y que posteriormente lo fijan en el suelo. Esta capacidad de establecimiento se debe principalmente a su característica de fijar nitrógeno atmosférico y a la alta resistencia a la sequía [30].

En cuanto al índice de valor de importancia, las cuatro especies con mayor IVI en la comunidad vegetal regenerada (*Neltuma glandulosa*, *Vachellia farnesiana*, *Cordia boissieri* y *Leucophyllum frutescens*) han sido reportadas como las de mayor presencia en comunidades vegetales del matorral espinoso tamaulipeco regeneradas después de disturbios [31], [27], [32], [8], [33], [10]. Estas especies muestran características de alta plasticidad y adaptación a las condiciones cambiantes, lo que las hace especialmente adaptables a sitios que pudieran presentar un grado de disturbio [34], [35]. Las cuatro especies con mayor IVI en la plantación, también fueron aquellas que mostraron los mayores valores de IVI en la regeneración natural. Posiblemente las plántulas germinadas provienen del banco de semillas generado por las plantas que fueron utilizadas en la plantación ya que son sexualmente maduras, aunque adicionalmente estas comunidades vegetales también, pudieran resultar de la llegada de semillas provenientes del núcleo de vegetación natural circundante del área de estudio [36] o de localidades relativamente cercanas [37], las cuales se encuentran con cobertura vegetal nativa y en dirección de los vientos dominantes NE y SE [38].

En el caso específico del matorral espinoso tamaulipeco, se ha sugerido que los árboles adultos pueden propiciar un retorno más complejo que a su vez favorezca el retorno de especies de flora y fauna nativa [39], [7]. Janzen [40] estableció que los procesos de restauración en potreros de bosques secos pueden seguir dos patrones diferentes ocurriendo al mismo tiempo, uno controlado por los árboles de semillas dispersadas por el viento y el otro controlado por las semillas defecadas por animales.

Entonces en el área estudiada los individuos adultos plantados podrían estar propiciando el reclutamiento de otras especies de plantas a través de la intercepción de semillas, percha de aves y/o desplazamiento de especies terrestres en búsqueda de cobertura, lo

cual estaría permitiendo la deposición de semillas de especies que provienen de las áreas naturales circundantes a la plantación.

Referente a la riqueza de especies en las comunidades vegetales evaluadas, la comunidad regenerada presenta un mayor número de especies en comparación a la plantada. Este incremento podría deberse a la llegada de semillas provenientes del núcleo natural que rodea la plantación [37], o a que la comunidad regenerada está en estadios iniciales de la sucesión ecológica [10]. También se ha demostrado que una de las variables que definen la composición de especies en las comunidades vegetales previas a algún evento de disturbio, es la composición florística inicial [41], [42], [43], [44]. Por lo tanto, la plantación de este experimento también podría ser una de las variables que pudiera estar afectando o definiendo la trayectoria de sucesión en etapa temprana de las comunidades evaluadas.

En cuanto a las variables descriptivas de la estructura vegetal, la única variable que presentó similitud entre ambas comunidades fue la abundancia. Esto puede estar indicando que mediante la práctica de plantación se generan condiciones que están propiciando la regeneración natural [2]. El resto de las variables consideradas (riqueza específica, área basal, área de copa y volumen) de la plantación fueron mayores a la regenerada naturalmente. Estos resultados son esperados para las variables área basal, área de copa y volumen, ya que los ejemplares de la comunidad plantada tienen mayor edad y por ende son de mayor tamaño. También la obtención de valores más altos dentro de la plantación se podría deber al manejo forestal de las plantaciones (podas, cortas de liberación, limpieza de plantas competidoras, etc.), cuyo objetivo principal es el de obtener mayor productividad y rendimiento de las especies de interés [45].

El porcentaje de similitud entre las comunidades vegetales evaluadas (39,96 %) es bajo-intermedio. Este valor se debe a que solo se comparten 14 especies entre ambas comunidades. Desde un punto de vista ecológico, se pudo observar la incorporación de riqueza específica y diversidad de especies vegetales, por lo que la regeneración natural aportó 15 nuevas especies (de las cuales cinco son herbáceas, cinco arbustivas, cuatro arbóreas y una suculenta). Por lo tanto, se infiere que la plantación podría estar fungiendo como un reclutador natural de especies vegetales, pues las especies plantadas estarían propiciando un microclima adecuado para la llegada y establecimiento de especies de plantas nativas que inicialmente no se encontraban dentro del área manejada. Guariguata y Ostertag [46] mencionan que las especies que se establecen después a un disturbio generalmente provienen del núcleo de vegetación natural circundante. Caso que es muy probable que esté ocurriendo en el área estudiada.

Conclusiones

Las principales especies regeneradas son las que presentaron el mayor índice de valor de importancia en la plantación. Las especies *Neltuma glandulosa*, *Vachellia farnesiana*, *Cordia boissieri* y *Leucophyllum frutescens* fueron las que se plantaron con mayor abundancia y son las que presentaron mayor abundancia, área basal, área de copa y volumen en la comunidad regenerada. Por lo tanto, se recomienda usar estas especies para la regeneración asistida ya que presentan características adecuadas que permitan la sobrevivencia de los individuos en campo.

La única variable que presentó similitud fue la abundancia, mientras los valores de riqueza específica, área basal, área de copa y volumen fueron mayores en la plantación que en la vegetación regenerada naturalmente. Estos resultados son esperados para las variables área basal, área de copa y volumen, ya que los ejemplares de la comunidad plantada tienen mayor edad, y por lo tanto, tuvieron mayor tamaño.

Finalmente, el porcentaje de similitud que existe la composición vegetal de ambas comunidades vegetales fue bajo-intermedio. Se puede concluir que las plantaciones son un elemento importante para la regeneración de las comunidades vegetales. Para futuros estudios se recomienda analizar el núcleo vegetal natural circundante para ver cuál es el aporte de la vegetación natural a la regeneración en las plantaciones. Aunado a esto, también se recomienda analizar el papel de los dispersores de semillas como agentes mediadores de la dinámica vegetal en plantaciones forestales.

Agradecimientos

Se agradece a los técnicos de campo de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo en el trabajo de campo.

Referencias

- [1] Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas, Principios de SER International sobre la restauración ecológica, SER, Tucson, 2004. [Online]. Disponible en: https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf. [Fecha de acceso: septiembre 12, 2024].
- [2] G. D. Gann, T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, et al., "International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition," *Restoration Ecology*, vol. 27, pp. S1–S46, 2019.
- [3] J. Aronson, N. Goodwin, L. Orlando, C. Eisenberg, y A. T. Cross, "A world of possibilities: six restoration strategies to support the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration," *Restoration Ecology*, vol. 28, no. 4, pp. 730–736, 2020.
- [4] Naciones Unidas, "Resolución aprobada por la Asamblea General el 1 de marzo de 2019: Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030)", Resolución A/RES/73/284, Asamblea General, Nueva York, 2019. [Online]. Disponible: <https://undocs.org/A/RES/73/284>. [Fecha de acceso: agosto 16, 2024].
- [5] C. Rodríguez-Arias, "Cambios en la estructura vertical y composición florística en la Reserva Natural Madre Verde-Costa Rica tras 15 años de restauración ecológica," *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 57, no. 2, 2023.
- [6] E. W. A. Weidlich, F. G. Flórido, T. B. Sorrini, y P. H. S. Brancalion, "Controlling invasive plant species in ecological restoration: a global review," *Journal of Applied Ecology*, vol. 57, pp. 1806–1817, 2020.
- [7] L. Muñoz, M. Girón, J. Muñoz, y Z. Aguirre, "Regeneración de especies arbóreas y arbustivas después de un año de monitoreo en un matorral andino ecuatoriano," en *Open Science Research XIV*, vol. 14, Editora Científica Digital, 2024, pp. 703–724.
- [8] A. M. Patiño-Flores, E. Alanís-Rodríguez, V. M. Molina-Guerra, E. Jurado, H. González-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, y A. Collantes-Chávez-Costa, "Regeneración natural en un área restaurada del matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México," *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 9, no. 1, p. e2853, 2022.
- [9] J. Muñoz, "Regeneración Natural: Una revisión de los aspectos ecológicos en el bosque tropical de montaña del sur del Ecuador," *Bosques Latitud Cero*, vol. 7, no. 2, pp. 130–143, 2017.
- [10] E. Alanís-Rodríguez, C. A. Martínez-Adriano, L. Sánchez-Castillo, E. A. Rubio-Camacho, y A. Valdecantos-Dema, "Land abandonment as driver of woody vegetation dynamics in Tamaulipan thornscrub at Northeastern Mexico," *PeerJ*, vol. 11, p. e15438, 2023.
- [11] J. M. Mata-Balderas, C. S. González-Sánchez, K. A. Cavada-Prado, y T. I. Sarmiento-Muñoz, "Evaluación de una reforestación y regeneración del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México," *Revista mexicana de ciencias forestales*, vol. 14, no. 79, pp. 180–212, 2023.
- [12] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, "Mapa de uso de suelo en México," INEGI, 2024. [Online]. Disponible: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>. [Fecha de acceso: agosto 24, 2024].
- [13] E. Alanís-Rodríguez, V. M. Molina-Guerra, A. Collantes-Chávez-Costa, E. Buendía-Rodríguez, A. Mora-Olivo, L. Sánchez-Castillo, y A. G. Alcalá-Rojas, "Structure, composition and carbon stocks of woody plant community in assisted and unassisted ecological succession in a

- Tamaulipan thornscrub, Mexico," *Revista Chilena de Historia Natural*, vol. 94, p. 6, 2021.
- [14] E. Alanís, V. M. Molina, L. Rechy, A. G. Alcalá, J. D. Marín, y M. A. Pequeño, *Composición, diversidad y sobrevivencia de un área restaurada en el Complejo Siderúrgico de Ternium, Pesquería, México*, 1st ed., Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos, 2016, ISBN: 978-607-02-8157-0.
- [15] E. Alanís-Rodríguez, A. Mora-Olivo, y J. S. Marroquín de la Fuente, *Muestreo ecológico de la vegetación*, Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 2020, ISBN: 978-607-27-1307-9.
- [16] V. M. Molina-Guerra, A. Mora-Olivo, y E. Alanís-Rodríguez, *Plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México*, Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 2019, ISBN: 978-607-27-1168-6.
- [17] Tropicos, "Missouri Botanical Garden", [Online]. 2024. Disponible: <http://www.tropicos.org>. [Fecha de acceso: abril 24, 2024].
- [18] B. Mostacedo y T. S. Fredericksen, *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*, BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia, 2000.
- [19] P. J. Edwards, R. M. May, y N. R. Webb, *Large-scale ecology and conservation biology*, Wiley-Blackwell, Oxford, 1994.
- [20] D. M. Mueller-Dombois y H. Ellenberg, *Aims and methods of vegetation ecology*, John Wiley & Sons, USA, 1974.
- [21] G. P. Quinn y M. J. Keough, *Experimental Design and Data Analysis For Biologists*, Cambridge University Press, New York, 2002.
- [22] C. Dytham, *Choosing and using statistics: a biologist's guide*, 3rd ed., Blackwell Publishing Ltd., United Kingdom, 2011.
- [23] N. J. Gotelli y A. M. Ellison, *A Primer of Ecological Statistics*, Sinauer Associates Publishers, Sunderland, MA, USA, 2013.
- [24] R Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>.
- [25] H. Wickham, *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*, Springer-Verlag, New York, 2016.
- [26] E. Moreno, *Métodos para medir la biodiversidad*. Aragón, España: Manual de la Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), 2000.
- [27] J. Jiménez, E. Alanís, O. A. Aguirre, M. Pando, y M. A. González, "Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco," *Madera y Bosques*, vol. 15, no. 3, pp. 5-20, 2009.
- [28] V. M. Molina-Guerra, M. Pando-Moreno, E. Alanís-Rodríguez, P. A. Canizales-Velázquez, H. González-Rodríguez, y J. Jiménez-Pérez, "Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México," *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 4, pp. 361-371, 2013.
- [29] M. A. Pequeño-Ledezma, E. Alanís-Rodríguez, V. M. Molina-Guerra, A. Mora-Olivo, A. Alcalá-Rojas, J. G. Martínez-Ávalos, y F. Garza-Ocañas, "Plant composition and structure of two post-livestock areas of Tamaulipan thornscrub, Mexico," *Revista Chilena de Historia Natural*, vol. 91, no. 1, p. 4, 2018.
- [30] J. Zhou, F. Zhang, Y. Huo, G. W. T. Wilson, A. B. Cobb, X. Xu, X. Xiong, L. Lui, y Y. Zhang, "Following legume establishment, microbial and chemical associations facilitate improved productivity in degraded grasslands," *Plant and Soil*, vol. 443, no. 1-2, pp. 273-292, 2019.
- [31] E. Alanís, J. Jiménez, O. Aguirre, E. Treviño, E. Jurado, y M. González, "Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco," *Ciencia UANL*, vol. 11, no. 1, pp. 56-62, 2008.
- [32] J. Jiménez, E. Alanís, O. A. Aguirre, M. Pando, y M. A. González, "Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco," *Madera y Bosques*, vol. 15, no. 3, pp. 5-20, 2009.
- [33] N. A. Leal, E. Alanís, J. M. Mata, E. J. Treviño, y J. I. Yarena, "Estructura y diversidad de especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco regenerado postganadería en el noreste de México," *Polibotánica*, vol. 45, pp. 75-88, 2018.
- [34] H. González y I. Cantú, "Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco," *Ciencia UANL*, vol. 4, no. 4, 2001.
- [35] H. González, I. Cantú, M. V. Gómez, y R. G. Ramírez, "Plant water relations of thornscrub shrub species, north-eastern Mexico," *Journal of Arid Environments*, vol. 58, no. 4, pp. 483-503, 2004.
- [36] C. A. Martínez-Adriano, E. Jurado, J. Flores, E. Estrada-Castillón, y H. González-Rodríguez, "Effect of induced warming on seedling emergence of Tamaulipan thornscrub at northeastern Mexico," *Flora*, vol. 285, p. 151965, 2021.
- [37] R. Valdes-Alameda, E. Jurado, J. Flores, y E. Estrada, "Positive relationship between seedlings and saplings with adult trees at small scale influenced by dispersal vectors in semiarid thornscrub," *Acta Botanica Brasílica*, vol. 38, p. e20230130, 2024.
- [38] INEGI. 1986. Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática. Síntesis geográfica del estado de Nuevo León.
- [39] E. Jurado, J. F. García, J. Flores, y E. Estrada, "Leguminous seedling establishment in Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico," *Forest Ecology and Management*, vol. 221, pp. 133-139, 2006.
- [40] D. H. Janzen, "Management of habitat fragments in a tropical dry forest: growth," *Annals of the Missouri Botanical Garden*, vol. 75, pp. 105-116, 1988.
- [41] H. R. Grau, M. F. Arturi, A. D. Brown, y P. G. Acenolaza, "Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in Argentinean subtropical montane forests," *Forest Ecology and Management*, vol.

95, pp. 161–171, 1997.

- [42] M. van Breugel, J. Ransijn, D. Craven, F. Bongers, y J. S. Hall, "Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models," *Forest Ecology and Management*, vol. 262, pp. 1648-1657, 2011.
- [43] R. L. Chazdon, "Chance and determinism in tropical forest succession," in *Tropical forest community ecology*, W. Carson y S. A. Schnitzer, Eds., John Wiley & Sons, West Sussex, UK, 2008, pp. 384-408.
- [44] R. L. Chazdon, *Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*, The University of Chicago, United States of America, 2014.
- [45] V. M. Molina-Guerra, E. Alanís-Rodríguez, A. C. Chávez-Costa, A. Mora-Olivo, E. Buendía-Rodríguez, y E. Rosa-Manzano, "Restauración de un fragmento de matorral espinoso tamaulipeco: respuesta de ocho especies leñosas," *Colombia Forestal*, vol. 26, no. 1, pp. 36-47, 2023.
- [46] M. R. Guariguata y R. Ostertag, "Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics," *Forest Ecology and Management*, vol. 29, no. 1-3, pp. 185–206, 2001.