



Desempeño de una reforestación con especies arbóreas nativas

del matorral espinoso tamaulipeco en áreas degradadas

Performance of a reforestation with native tree species of the Tamaulipan thornscrub in degraded areas

Ana María Patiño-Flores¹, Eduardo Alanís-Rodríguez¹, Víctor Manuel Molina-Guerra^{1,2}, José Ángel Sigala Rodríguez³, Enrique Jurado¹, Humberto González-Rodríguez¹ y Oscar Alberto Aguirre-Calderón¹

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México.

² RENAC, S.A. de C.V. Linares, Nuevo León, México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Durango, México.

* Autor de correspondencia. eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

RESUMEN

El uso irracional de los recursos naturales ha provocado la degradación de los ecosistemas. En el noreste de México, el matorral espinoso tamaulipeco se ha visto afectado por la remoción de la cubierta vegetal con el propósito de que su superficie sea destinada para diferentes actividades económicas. Se han buscado estrategias para tratar de revertir el daño causado, por ello grupos de gestores y académicos han recurrido a la reforestación con especies nativas para conocer los requerimientos de cada especie y poder determinar cuáles son las mejores para estas prácticas. Se evaluó el desempeño de una reforestación con especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco (*Cordia boissieri*, *Caesalpinia mexicana*, *Eysenhardtia texana* y *Leucophyllum frutescens*). Se realizaron evaluaciones cada seis meses; desde el inicio de la plantación hasta 41 meses después. La supervivencia fue determinada por el método Kaplan-Meier además de calcular tasas de crecimiento para las variables diámetro, altura y cobertura. La supervivencia general fue de 49.4%. La especie *C. boissieri* fue la que menor supervivencia presentó (37.7%). En términos de crecimiento en diámetro, *C. boissieri* y *C. mexicana* registraron mayor crecimiento, aunque a partir del mes 30 todas las especies presentaron disminución. Al inicio, las tasas de crecimiento en altura fueron mínimas, después del mes 20, la especie *C. mexicana* mostró alturas significativamente mayores. La especie *C. mexicana* registró poco más de 10% de la cobertura, aunque *C. boissieri* fue la especie que menor supervivencia registró, al igual que *C. mexicana* mostraron mayor crecimiento con respecto al resto de las especies.

PALABRAS CLAVE: *Caesalpinia mexicana*, *Cordia boissieri*, crecimiento, *Eysenhardtia texana*, *Leucophyllum frutescens*, plantación, supervivencia, rehabilitación.

ABSTRACT

The irrational use of natural resources has led to degradation of ecosystems. In northeastern Mexico, Tamaulipan thornscrub has been affected by the removal of the vegetation cover due to different economic activities. Faced with this problem, strategies have been sought to try to reverse the damage caused to this community, for this reason, groups of managers and academics have resorted to reforestation with native species to know the requirements of each species and to be able to determine which are best for them. In the present study, the performance of a reforestation practice with native species of the Tamaulipan thorn scrub (*Cordia boissieri*, *Caesalpinia mexicana*, *Eysenhardtia texana* and *Leucophyllum frutescens*) was evaluated. Evaluations were carried out every six months, from the beginning of the plantation until 41 months later. Survival was determined by the Kaplan-Meier method in addition to calculating growth rates for diameter, height, and cover. Overall survival was 49.4%. *C. boissieri* had the lowest survival (37.7%). *C. boissieri* and *C. mexicana* registered higher growth in diameter, all species stopped growing in diameter after 30 months. Early growth rates in height were minimal, after month 20, *C. mexicana* was significantly taller. *C. mexicana* registered just over 10% of coverage. *C. boissieri* was the species with the lowest survival, and together with *C. mexicana* showed greater growth with respect to the rest of the species.

KEYWORDS: *Caesalpinia mexicana*, *Cordia boissieri*, growth, *Eysenhardtia texana*, *Leucophyllum frutescens*, planting, survival, rehabilitation.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades vegetales presentes en las zonas semiáridas del norte de México han sido sujetas a una gran presión, ya que sus especies son utilizadas como alimento, forraje, combustible, materiales para construcción, entre otros (Molina-Guerra et al., 2019). En el noreste de México, el matorral espinoso tamaulipeco es considerado como la comunidad vegetal más abundante y aprovechada en esta región (García y Jurado, 2008). Por tanto, el cambio de uso de suelo para actividades agrícolas, pecuarias o minería son las principales causas de la degradación (Alanís-Rodríguez et al., 2015).

Para acelerar los tiempos de recuperación se recurre a las técnicas de restauración ecológica, las cuales ayudan a la rehabilitación de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos (Society of Ecological Restoration [SER], 2004). Las reforestaciones con especies nativas y la mezcla de estas se reconoce como un medio eficaz para rehabilitar las funciones y diversidad en los ecosistemas degradados (Alanís-Rodríguez et al., 2021; Basave-Villalobos et al., 2022).

En el matorral espinoso tamaulipeco, se han realizado algunas investigaciones que documentan el desempeño de plantaciones con especies nativas, como las realizadas por Foroughbakhch et al. (2001) y Foroughbakhch et al. (2014) que evaluaron plantaciones a largo plazo (14 años) o las de Alanís et al. (2016) y Vega-López et al. (2017) donde estudiaron plantaciones con mezcla de especies en un periodo reducido de tiempo (un año). No obstante, todavía existe escasa información sobre el establecimiento y desempeño de especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco en sitios degradados y de baja productividad.

OBJETIVOS

El objetivo en esta investigación fue evaluar la supervivencia y crecimiento de una reforestación multiespecífica de *Cordia boissieri*, *Leucophyllum frutescens*, *Caesalpinia mexicana* y *Eysenhardtia texana* durante 41 meses en un área degradada del matorral espinoso tamaulipeco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El proyecto de restauración se realizó en un área desprovista de vegetación en el ejido La Arena, en el municipio de Pesquería, Nuevo León, con coordenadas 25°46'29.31" latitud norte y -100°0'59.06" longitud oeste. El clima predominante es seco semicálido (BWhw) (García, 1964) con temperatura media anual de 20 °C a 21 °C y una precipitación media anual de 550 mm. El suelo en su mayoría es xerosol. La vegetación corresponde a matorral espinoso tamaulipeco (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2005). La figura 1 ilustra las condiciones ambientales prevalecientes durante el desarrollo del estudio.

El área restaurada se delimitó con un cercado perimetral para evitar el ingreso del ganado doméstico y personal ajeno al proyecto. Previo a la plantación, se eliminaron las herbáceas del área, en su mayoría individuos de la especie exótica *Pennisetum ciliare* (L.) Link. (Zacate Buffel). La eliminación se realizó de manera mecanizada utilizando un tractor John Deere 305 con chapoleadora. Debido a que la plantación se realizó en una loma y el suelo era pedregoso, se utilizó el cucharón de una retroexcavadora Case para la descompactación del suelo en un área de 60 cm de ancho por 80 cm de profundidad. Una vez que el suelo se descompactó, parte de este se volvió a colocar en la cepa y se realizó la plantación.

La reforestación se realizó en febrero 2017 con cuatro especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco *Cordia boissieri*, *Leucophyllum frutescens*, *Caesalpinia mexicana* y *Eysenhardtia texana*. Los individuos presentaban buen vigor y fueron producidos en viveros de la localidad. Las plantas presentaban una altura media de 1.45 m y un diámetro basal de 0.5 cm a una altura de 10 cm del suelo, al momento de la plantación. En la cepa, se realizó la plantación y se aplicó hidrogel (20 g a cada planta) y enraizador Rotex (se diluyeron 20 kg en 10000 L de agua y se aplicó a razón de 20 L por planta). La distribución de



las plantas fue en tresbolillo con una distancia de 1.5 m entre individuos y líneas, teniendo una densidad inicial de 4444 plantas por hectárea. Para darles soporte a las plantas, se colocaron tutores de madera a cada individuo y se aplicó riego (19 L por planta) diariamente durante el primer mes y posteriormente, cada tercer día durante dos años. Para retener el agua del riego y de las precipitaciones a cada planta se le realizó un cajete de 1 m² (Alanís et al., 2016). En el área de estudio se realizó mantenimiento de herbáceas con desbrozadora mensualmente desde 2017 hasta 2019.

Evaluación

La evaluación de la plantación se realizó en primavera y otoño (6 de octubre de 2017, 30 de abril de 2018, 1 de noviembre de 2018, 8 de mayo de 2019, 11 de octubre de 2019 y 4 de junio de 2020), coincidiendo aproximadamente con el inicio y fin de las etapas de crecimiento de las especies del MET. A cada individuo se le midió altura total (cm), diámetro basal (cm) a 20 cm del suelo y diámetro de copa (m) en sentido N-S y E-O.

Análisis estadístico

La supervivencia se analizó con la prueba no-paramétrica Log-Rank a partir de curvas de supervivencia construidas con el método Kaplan-Meier. Para este análisis, se utilizó la función *survfit* del paquete ‘survival’ de R versión 4.0.0 (Thermeau 2015). La comparación pareada entre especies se realizó con la función *survdiff*. El análisis de crecimiento en diámetro y altura se realizó sólo en plantas vivas que sobrevivieron hasta el final del estudio, excluyendo todas las plantas que murieron en algún punto del periodo de evaluación. Además, con estos datos, se calcularon tasas relativas de crecimiento en diámetro (TRCD) y altura (TRCA) entre cada fecha de medición mediante la ecuación 1 (Hunt, 1990).

$$TRCX = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

donde:

TRCX: tasa relativa de crecimiento en diámetro o altura

X₁: valor de diámetro o altura en el tiempo 1

X₂: valor de diámetro o altura en el tiempo 2

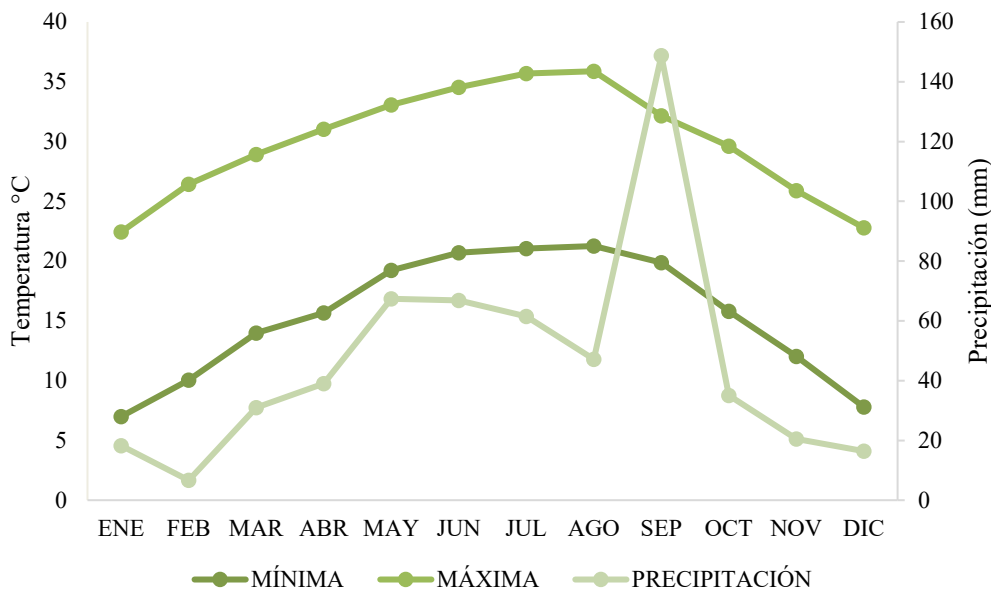


FIGURA 1. Temperaturas medias, mínimas y máximas, mensuales y precipitación media mensual acumulada del sitio de estudio, durante el periodo de evaluación de la plantación.

t_1 : tiempo 1

t_2 : tiempo 2

El crecimiento acumulado en diámetro y altura, así como las tasas relativas de crecimiento, se analizó mediante modelos de efectos mixtos en los que se incluyó la especie y el tiempo (meses después de plantado [MDP], variable continua) como efectos fijos, mientras que la planta (individuo) y la parcela como efectos aleatorios. El ajuste de los modelos fue realizado con la función *lmer* del paquete ‘lme4’ (Bates et al., 2015). Cuando los efectos fijos o la interacción fueron significativos, se realizó una prueba de comparación múltiple de medias con el ajuste de Tukey usando el paquete ‘emmeans’ (Lenth 2019). Por otra parte, se calculó el área de copa a nivel individual como una elipse, usando el diámetro de copa de dos ejes perpendiculares (N-S y E-O). Con esto se estimó la cobertura total por especie a nivel parcela. Los datos de cobertura fueron igualmente

analizados mediante un modelo de efectos mixtos, incluyendo la especie y el tiempo (MDP) como factores fijos y la parcela como factor aleatorio. Además, la densidad inicial de plantación se incluyó como covariable fija dentro del modelo ya que ésta fue distinta por especie y podría influir en la cobertura total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia

Al final del estudio, a 41 meses después de plantado (MDP), se observó una supervivencia general de 49.4%. La función de supervivencia varió significativamente entre las especies ($\chi^2=36.0$, $p<0.001$). *Cordia boissieri* presentó la menor supervivencia durante el periodo de estudio, finalizado con una supervivencia de 37.7% a los 41 MDP (Fig. 2), con diferencias significativas del resto de las especies (*Leucophyllum frutescens*, *Caesalpinia mexicana* y *Eysenhardtia*

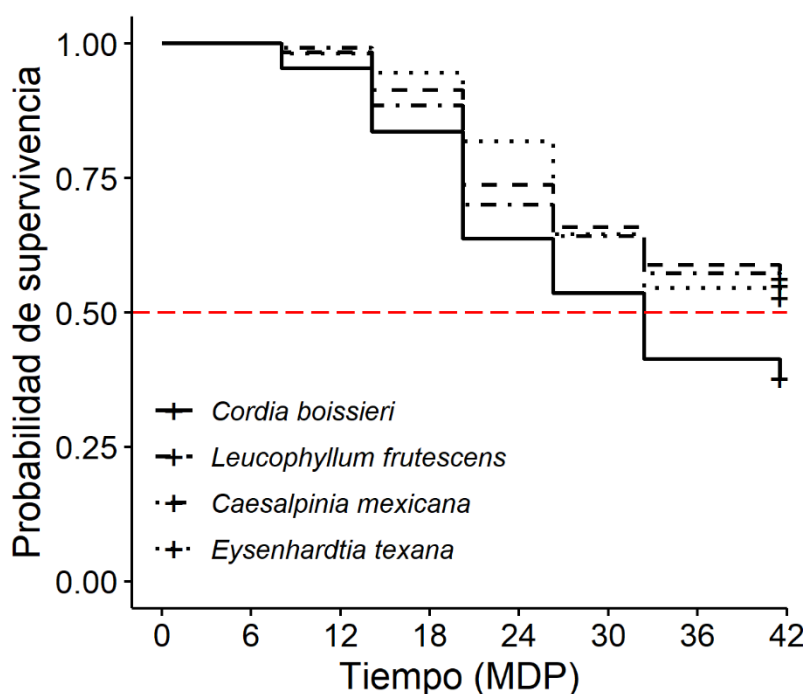


FIGURA 2. Probabilidad de supervivencia de cuatro especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco durante los primeros 41 meses después de plantado (MDP).

Las curvas de supervivencia fueron construidas mediante el método Kaplan-Meier. La línea horizontal discontinua indica el umbral de supervivencia de 50%.



texana), las cuales mostraron una probabilidad de supervivencia promedio de 54.7%. Los resultados obtenidos de supervivencia son menores a los observados por López-Aguillón y López-García (2013), quienes registraron una supervivencia de 97% a seis meses de la plantación y 70% a 16 años, donde *Cordia boissieri* fue una de las especies con mayor supervivencia. Alanís et al. (2016) evaluaron una plantación con especies que procedían de un rescate del matorral espinoso tamaulipeco, a los seis meses registraron una supervivencia de 85%. Vega-López et al. (2017) evaluaron una plantación en el matorral espinoso tamaulipeco y tuvieron una supervivencia similar a nuestros resultados, con 51.6%, pero al año de realizada la plantación.

Propiedades físicoquímicas del suelo (Omary, 2011), condiciones topográficas (Chen y Klinka, 1998) así como la metodología utilizada en el establecimiento de las plantaciones (Ortega et al. 2006) son factores que determinan la supervivencia de los individuos en una plantación. En ecosistemas como en el matorral espinoso tamaulipeco, las especies han desarrollado ciertas características morfológicas y fisiológicas como adaptación a las condiciones de clima adverso (González y Cantú, 2001). Román-Dañobeytia et al. (2021) encontraron que cuanto mayor es la densidad de madera en la especie mayor es el porcentaje de supervivencia, esto en suelos degradados. El valor de densidad de madera de *Cordia boissieri* es de 0.57 g cm⁻³, uno de los más bajos de las 13 especies evaluadas del matorral espinoso tamaulipeco por Carrillo et al. (2011) y Foroughbakhch et al. (2012), lo cual explica el bajo porcentaje de supervivencia de esta especie. En el estudio realizado por Vega-López et al. (2017), *Leucophyllum frutescens* (19%) fue la especie que menor supervivencia mostró a un año de la plantación, junto a *Vacellia farnesiana* (21%), especie también con valores bajos de densidad de madera (0.65 g cm⁻³). *Cordia boissieri*, *Leucophyllum frutescens* y *Vacellia farnesiana* son especies pioneras, heliófitas y de rápido crecimiento, que han sido registradas en las primeras fases sucesionales después de disturbios como la ganadería, agricultura y deforestación (Jiménez et al., 2013; Leal-Elizondo et al., 2018).

Crecimiento

Altura y diámetro. En general, todas las especies mostraron incrementos significativos en el diámetro desde el momento del establecimiento de la plantación (Fig. 3a), manteniendo tasas de crecimiento positivas durante los primeros 30 meses. A partir de los 30 meses, se observó una reducción de crecimiento en todas las especies (tasas cercanas a cero, Fig. 3c). No obstante, *Cordia boissieri* y *Caesalpinia mexicana* fueron las especies que manifestaron un mayor crecimiento en diámetro, pero a partir del mes 14 después de plantado (interacción tiempo × especie, $p < 0.001$).

Al inicio de las plantaciones, se presenta un periodo de incremento en su crecimiento al cual le sigue un incremento rápido y después de esta fase se puede presentar algún cambio ya sea interno o externo lo cual provoca que la tasa de crecimiento decline (Studhalter et al., 1963; Fritts, 1976); además del efecto de herbivoría, el cual se presenta en las primeras etapas de crecimiento tanto en plantaciones como en bosques nativos y afecta en gran medida a las plantas (Sato, 2000; Kitabatake y Wada, 2001) provocando tasas de crecimiento negativas al inicio de la plantación. El crecimiento en diámetro muestra variaciones a lo largo de la planta, tanto en tallo como raíces, pueden ser por lapsos de tiempo cortos o largos, así como en individuos jóvenes o viejos (Fritts, 1976). Nuestros resultados contrastan con otros donde *Cordia boissieri*, ha registrado crecimiento lento a moderado en diversos estudios hasta después de 14 años de evaluación (Foroughbakhch et al., 2001; Alanís-Flores y Ballester-Franzoni, 2007; Vega-López et al. 2017).

En los primeros 15 meses después de plantado, en general, todas las especies presentaron una disminución del crecimiento en altura (Fig. 3b), con tasas negativas de crecimiento (Fig. 3d). *Leucophyllum frutescens* y *Eysenhardtia texana*, mantuvieron una tendencia decreciente hacia el mes 20 después de plantado, mientras que *Cordia boissieri* y *Caesalpinia mexicana* mostraron tasas positivas de crecimiento. A partir del mes 20, *Caesalpinia mexicana* mostró alturas significativamente mayores que las demás especies hasta el final del estudio (interacción tiempo ×

especie, $p < 0.001$). Las tasas negativas de crecimiento iniciales se registran posiblemente como una estrategia de las especies ante la sequía, ya que en algunos casos evitan la sequedad perdiendo las hojas en verano y disminuyendo el crecimiento (Montenegro, 1987; Orshan et al., 1988). Vega-López et al. (2017) también registraron un decremento significativo en el crecimiento en altura de *Cordia boissieri*.

Son pocos los trabajos evaluando plantaciones con especies del matorral espinoso, Foroughbakhch et al.

(2014) evaluaron una plantación de 12 especies multipropósito del matorral espinoso tamaulipeco durante 20 años, cuyos resultados mostraron que *Parkinsonia aculeata* (0.51), *Leucaena leucocephala* (0.49) y *L. pulverulenta* (0.48) presentaron las tasas de crecimiento más altas ($m\ a\ a\ o^{-1}$). Se ha demostrado que *Leucophyllum frutescens* presenta un mejor desarrollo en condiciones de suelos con buen drenaje (Alanís-Flores y Ballester-Franzoni, 2007).

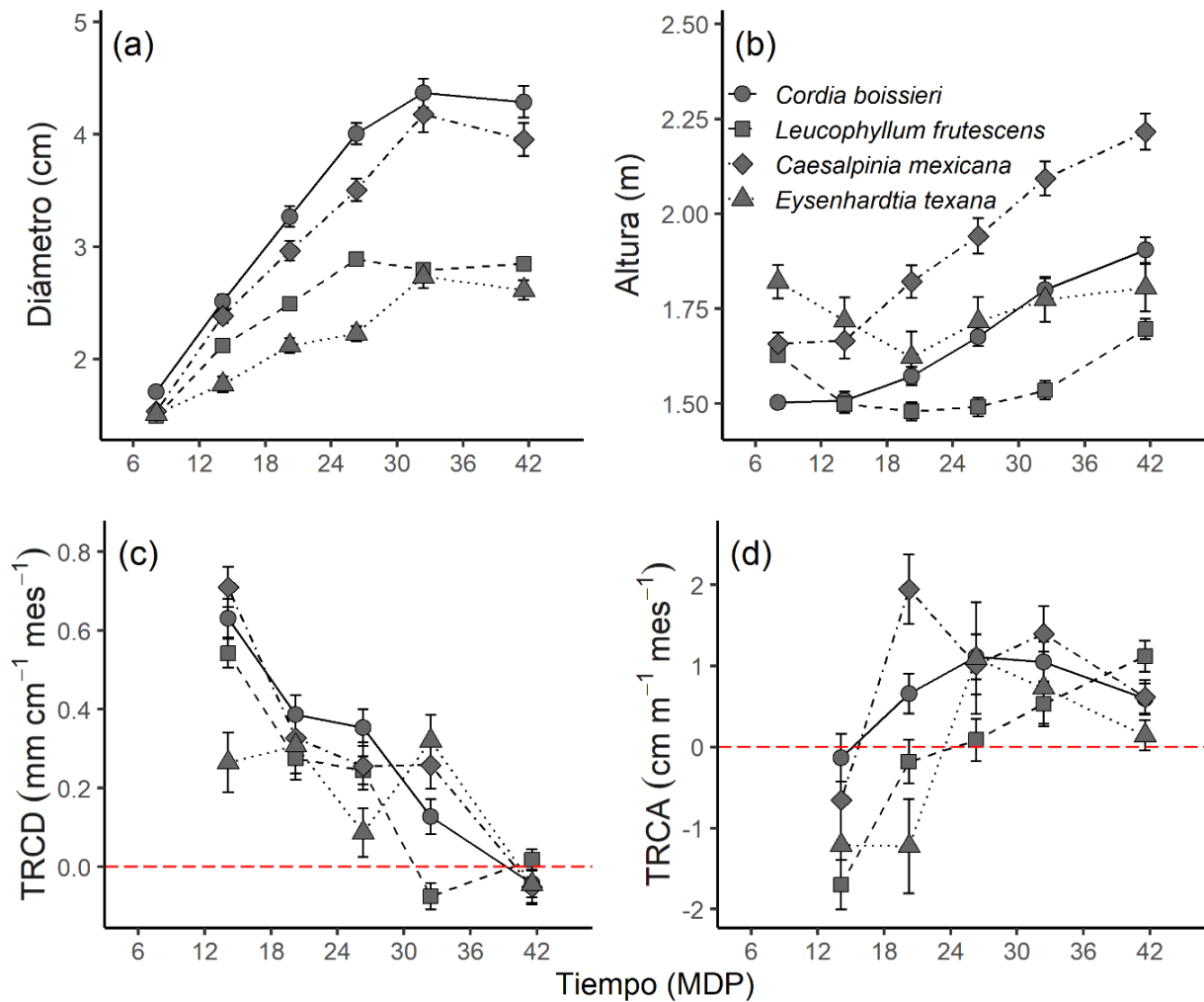


FIGURA 3. Crecimiento en diámetro y altura (a, b) y tasas relativas de crecimiento en diámetro y altura (c, d) de cuatro especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco durante 41 meses después de plantado (MDP).

Cada valor graficado representa la media \pm EE [n = (C. boissieri), 243 (L. frutescens), 135 (C. mexicana) y 56 (E. texana)].



Cobertura. A pesar de la reducción en la densidad de plantas debido a la mortalidad, se observó un aumento significativo en la cobertura total durante el periodo de estudio ($p < 0.001$) dado por el aumento del área de copa en todas las especies. Asimismo, se encontraron diferencias significativas en la cobertura entre las especies ($p < 0.001$). *Caesalpinia mexicana* mostró la mayor cobertura, llegando hasta un poco más de 10% de la superficie cubierta hacia final del estudio (Fig. 4), con diferencias sobre el resto de las especies. En segundo lugar, se encontraron las especies *Cordia boissieri* y *Leucophyllum frutescens* con valores de entre 3.8% y 6.5%, respectivamente. Finalmente, *Eysenhardtia texana* presentó la menor cobertura, con valores que no superaron 2.6% hasta final del estudio. Esta diferencia en el aumento en la cobertura total se explica por la forma biológica de las especies, ya que individuos adultos de *Caesalpinia mexicana* y *Cordia boissieri* son árboles que alcanzan hasta de 6 m a 8 m de altura con coberturas de copa amplias, mientras *Leucophyllum frutescens* y *Eysenhardtia texana* son arbustos que miden de 1 m a 2.5 m de altura con coberturas similares a su altura total (Molina et al. 2019).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran diferencias interespecíficas en el establecimiento y desempeño de una reforestación multiespecífica en áreas degradadas del MET. De acuerdo con los resultados de supervivencia *Leucophyllum frutescens*, *Eysenhardtia texana* y *Caesalpinia mexicana* tuvieron un mejor desempeño. Por otra parte, especies de hábito de crecimiento más arbóreo como *Caesalpinia mexicana* y *Cordia boissieri* mostraron mejores resultados en crecimiento y cobertura.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a la empresa Techgen, S.A. de C.V., en especial al C. Omar Humberto Fernández y al Lic. José Antonio Torres por todas las facilidades otorgadas para realizar el trabajo en campo. También al personal de las empresas RENAC, S.A. de C.V. y Geoprospect S.A. de C.V., por el apoyo en la logística y actividades de campo. También agradecer al Conacyt por la beca de posgrado otorgada al primer autor.

REFERENCIAS

- Alanís-Flores, G. J., & Ballester-Franzoni, C. (2007). *El valor de nuestras plantas*. Fondo editorial de Nuevo León.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Canizales-Velázquez, P. A., González-Rodríguez, H., & Mora-Olivo, A. (2015). Estado actual del conocimiento de la estructura arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(7), 69-80.
- Alanís, E., Molina, V. M., Rechy, L., Alcalá, A. G., Marín, J. D., & Pequeño, M. A. (2016). Composición, diversidad y sobrevivencia de un área restaurada en el Complejo Siderúrgico de Ternium, Pesquería, Nuevo León. En C. Martínez-Garza, & E. Cecon (Eds.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* (1a. ed., pp. 255-272). UNAM.
- Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V. M., Collantes-Chavéz-Costa, A., Buendía-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Sánchez-Castillo, L., & Alcalá-Rojas, A. G. (2021). 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*, 94(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40693-021-00102-6>

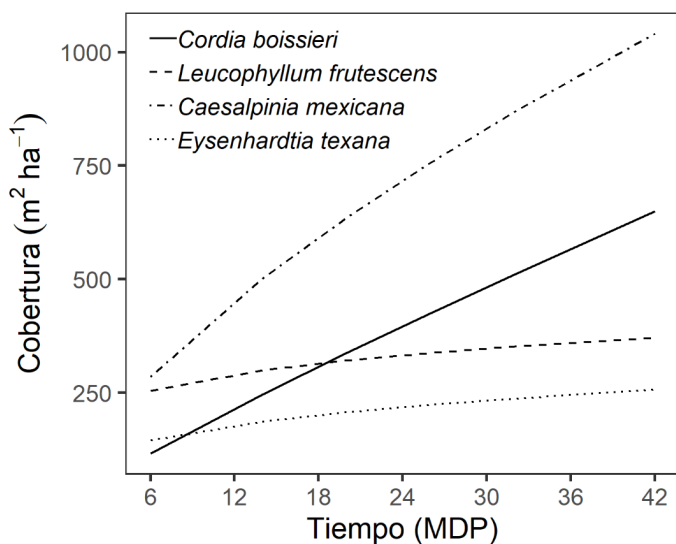


FIGURA 4. Evolución de la cobertura total de cuatro especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco durante los primeros 41 meses después de plantado (MDP).

Las líneas representan valores predichos para una densidad promedio inicial de 680 plantas por hectárea por especie.

- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Basave-Villalobos, E., Cetina-Alcalá, V. M., López-López, M. Á., Trejo, C., Ramírez-Herrera, C., Antúnez, P., & Conde-Martínez, V. (2022). Light management in tree nurseries to produce *Pithecellobium dulce* seedlings for the reforestation of degraded lands in Southern Mexico's tropical dry forests: Linking nursery practices and reforestations. *Bois et Forêts des Tropiques*, 351, 3-13. <https://doi.org/10.19182/bft2022.351.a31919>
- Carrillo, A., Garza, M., Nañez, M. J., Garza, F., Foroughbakhch, R., & Sandoval, S. (2011). Physical and mechanical wood properties of 14 timber species from Northeast Mexico. *Annals of Forest Science*, 68(4), 675-679. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0083-1>
- Chen, H. Y. H. & Klinka, K. (1998). Survival, growth, and allometry of planted *Larix occidentalis* seedlings in relation to light availability. *Forest Ecology and Management*, 106(2-3), 169-179. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00309-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00309-5)
- Foroughbakhch, R., Hauad, L. A., Cespedes, A. E., Ponce, E. E., & González, N. (2001). Evaluation of 15 indigenous and introduced species for reforestation and agroforestry in northeastern Mexico. *Agroforestry Systems*, 51(3), 213-221. <https://doi.org/10.1023/A:1010702510914>
- Foroughbakhch, R., Carrillo Parra, A., HernándezPiñero, J. L., Alvarado Vázquez, M. A., Rocha Estrada, A., & Cardenas, M. L. (2012). Wood volume production and use of 10 woody species in semiarid zones of Northeastern Mexico. *International Journal of Forestry Research*, 2012, 529829. <https://doi.org/10.1155/2012/529829>
- Foroughbakhch, R., Hernández-Piñero, J. L., & Carrillo-Parra, A. (2014). Adaptability, growth and firewood volume yield of multipurpose tree species in semiarid regions of Northeastern Mexico. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 2(12), 444-453. <http://dx.doi.org/10.15739/IJAPR.016>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press.
- García, E. (1964). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. UNAM.
- García, J., & Jurado, E. (2008). Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares, N. L. México. *Revista Ra Ximhai*, 4(1), 1-21.
- González, R. H., & Cantú, S. I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 4(4), 454-461.
- Hunt, R. (1990). Relative growth rates. En R. Hunt (Ed.), *Basic Growth Analysis* (pp. 25-34). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6_3
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2005). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie III (continuo nacional), escala: 1:250 000*. Inegi.
- Jiménez, J., Alanís, E., González, M. A., Aguirre, O. A., & Treviño, E. J. (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>
- Kitabatake, T., & Wada, N. (2001). Notes on beech (*Fagus crenata* Blume) seed and seedling mortality due to rodent herbivory in a northernmost beech Forest, Utsai, Hokkaido. *Journal Forest Research*, 6(2), 111-115. <https://doi.org/10.1007/BF02762496>
- Leal-Elizondo, N. A., Alanís-Rodríguez, E., Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., & Yerena-Yamalle, J. I. (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>
- Lenth, R. (2019). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means (R package version 1.3.4)*. <https://cran.r-project.org/package=emmeans>
- López-Aguillón, R., & López-García, M. (2013). Evaluación y comportamiento paisajístico de especies nativas en Linares, N. L., 16 años de evaluación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 164-173. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.429>
- Molina-Guerra, V. M., Mora-Olivo, A., Alanís-Rodríguez, E., Soto-Mata, B., Patiño-Flores, A. M. (2019). *Plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Montenegro, G. (1987). Quantification of Mediterranean plant Phenology and Growth. En J. D. Tenhunen, F. M. Catarino, O. L. Lange, & W. C. Oechel (Eds.), *Plant response to stress* (pp. 469-488). Springer
- Orshan, G., Le Floch, E., Le Roux, A., & Montenegro, G. (1988). Plant pheno-morphology in Mediterranean type ecosystems. En F. di Castri, C. Floret, S. Ramball, & J. Roy (Eds.), *Time scales and water stress. Proceedings of the 5th Intl Congress on Mediterranean Ecosystems (MEDECOS V)* (pp. 111-123). I.U.B.S.
- Omary, A. A. (2011). Effects of aspect and slope position on growth and nutritional status of planted Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in a degraded land semi-arid areas of Jordan. *New Forests*, 42, 285-300. <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9251-2>



Ortega, U., Majada, J., Mena-Petite, A., Sánchez-Zabala, J., Rodríguez-Iturrizar, N., Txarterina, K., Azpitarte, J., & Duñabeitia, M. (2006). Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests*, 31(1), 97-112. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-7364-6>

Román-Dañobeytia, F., Cabanillas, F., Lefebvre, D., Farfan, J., Alferez, J., Polo-Villanueva, F., Llacsahuanga, J., Vega, C. M., Velasquez, M., Corvera, R., Condori, E., Ascorra, C., Fernandez, L. E., & Silman, M. R. (2021). Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, 159, 106097. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106097>

Sato, T. (2000). Effects of Rodents gnawing on the survival of current-year seedlings of *Quercus crispula*. *Ecological Engineering*, 15(3), 335-344. doi.org/10.1046/j.1440-1703.2000.00352.x

Studhalter, R. A., Glock, W. S., & Agerter, S. R. (1963). Tree growth. *Bot. Rev.*, 29, 245-365. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02860823>

Thermeau, T. (2015). *A package for survival analysis in S. R package version 2.38*. <http://CRAN.R-project.org/package=survival>

Society of Ecological Restoration [SER] (2004). *Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica*. www.ser.org/content/guidelines_ecological_restoration.asp

Vega-López, J. A., Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V. M., Buendía-Rodríguez, E., Marín-Solís, J. D., & Alcalá-Rojas, A. G. (2017). Selección de especies arbóreas y arbustivas para la restauración del matorral espinoso tamaulipeco. *Árido-Ciencia*, 2(1), 3-10.

Manuscrito recibido el 08 de abril de 2021

Aceptado el 01 de julio de 2022

Publicado el 30 de noviembre de 2022

Este documento se debe citar como:

Patiño-Flores, A. M., Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V. M., Sigala Rodríguez, J. Á., Jurado, E., González-Rodríguez, H., & Aguirre-Calderón, Oscar A. (2022). Desempeño de una reforestación con especies arbóreas nativas del matorral espinoso tamaulipeco en áreas degradadas. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822342. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822342>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.