

SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE UNA REFORESTACIÓN DE SEIS ESPECIES DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO

SURVIVAL AND GROWTH OF A REFORESTATION OF SIX SPECIES OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB IN NORTHEASTERN MEXICO

Mata-Balderas, José Manuel; Eduardo Alanís-Rodríguez; Tania Isela Sarmiento-Muñoz; Edwin Samuel Rodríguez-Alejandro y Adriana Concepción Garza-Pérez

SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE UNA REFORESTACIÓN DE SEIS ESPECIES DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO

SURVIVAL AND GROWTH OF A REFORESTATION OF SIX SPECIES OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB IN NORTHEASTERN MEXICO



Supervivencia y crecimiento de una reforestación de seis especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México

Survival and growth of a reforestation of six species of the Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico

José Manuel Mata-Balderas;
Eduardo Alanís-Rodríguez;
Tania Isela Sarmiento-Muñoz;
Edwin Samuel Rodríguez-
Alejandro y Adriana
Concepción Garza-Pérez

SUPERVIVENCIA Y
CRECIMIENTO DE UNA
REFORESTACIÓN DE SEIS
ESPECIES DEL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO
EN EL NORESTE DE
MÉXICO

SURVIVAL AND GROWTH
OF A REFORESTATION OF
SIX SPECIES OF THE
TAMAULIPAN
THORNSCRUB IN
NORTHEASTERN MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 135-147. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.9

José Manuel Mata-Balderas <https://orcid.org/0000-0003-4973-4462>
Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S.C., Apodaca, Nuevo León, México
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León
Linares, Nuevo León, México
Biólogos y Silvicultores forestales por el Ambiente A.C.
Apodaca, Nuevo León, México

Eduardo Alanís-Rodríguez
Autor de correspondencia: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx
<http://orcid.org/0000-0001-6294-4275>
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Linares, Nuevo León, México

Tania Isela Sarmiento-Muñoz <https://orcid.org/0000-0003-2867-8422>
Biólogos y Silvicultores forestales por el Ambiente A.C.
Apodaca, Nuevo León, México

Edwin Samuel Rodríguez-Alejandro <https://orcid.org/0009-0002-6945-6957>
Adriana Concepción Garza-Pérez <https://orcid.org/0009-0006-3189-0183>
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Linares, Nuevo León, México

RESUMEN: Una de las actividades crecientes de restauración ecológica en el matorral espinoso tamaulipeco es la reforestación. Los objetivos fueron estimar la supervivencia y determinar el crecimiento de las variables estructurales de altura total (h), diámetro basal ($d_{0.10}$) y diámetro de copa (k) en una reforestación de un año de establecida con labores de mantenimiento utilizando seis especies nativas (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Prosopis glandulosa* y *Senegalia berlandieri*) del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Para determinar si los valores presentaban diferencias estadísticas para los datos paramétricos se utilizó un ANOVA de un factor y para los datos no paramétricos la prueba de H de Kruskal-Wallis. Las pruebas post hoc fue la prueba de Tukey para el ANOVA y la de Games Howell para la prueba de H de Kruskal-Wallis. Las especies no presentaron crecimiento en altura ($p > 0.05$), pero sí en el diámetro basal y cobertura de copa ($p < 0.05$). Las especies que presentaron mayores incrementos en diámetro basal y diámetro de copa fueron *Havardia pallens* y *Cordia boissieri*. Todas las especies presentaron una supervivencia mayor al 93% a un año de ser plantadas.

Palabras clave: evaluación, especies nativas, restauración ecológica, *Havardia pallens* y *Cordia boissieri*.

ABSTRACT One of the growing activities of ecological restoration in the Tamaulipan thornscrub is reforestation. The objectives were to estimate the survival and determine the growth of the structural variables of total height (h), basal diameter ($d_{0.10}$) and crown diameter (k) in a one-year reforestation established with maintenance using six native species (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Prosopis glandulosa* y *Senegalia berlandieri*) of the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. To determine whether the values presented statistical differences for parametric data, a one-way ANOVA was used,

and the Kruskal-Wallis H test was used for non-parametric data. The post hoc tests were the Tukey test for the ANOVA and the Games Howell test for the Kruskal-Wallis H test. The species did not show growth in height ($p>0.05$) but did show growth in basal diameter and canopy cover ($p<0.05$). The species that presented the greatest increases in basal diameter and crown diameter were *Havardia pallens* and *Cordia boissieri*. All species had a survival greater than 93% one year after being planted.

Key words: evaluation, native species, ecological restoration, *Havardia pallens* and *Cordia boissieri*.

INTRODUCCIÓN

El matorral espinoso tamaulipeco presenta una superficie de 125,000 km² del noreste de México, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila (Molina *et al.*, 2019). Esta comunidad vegetal ofrece bienes y servicios ecosistémicos, como productos maderables, captura de carbono, hábitat para fauna silvestre, recarga de mantos acuíferos y belleza paisajística (Foroughbakhch *et al.*, 2014). A pesar de la importancia de este matorral, su extensión original se ha visto afectada debido al cambio de uso de suelo para fines agrícolas y pecuarios principalmente (Arriaga *et al.*, 1994; Foroughbakhch *et al.*, 2009) presentando actualmente una superficie de 25,569 km² (CONABIO, 2011).

Cuando baja la productividad del suelo y por consecuencia de las actividades agrícolas y pecuarias que se desarrollan se abandona el área (Mohsin *et al.*, 2021; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2023). Posterior al abandono se puede dejar que la vegetación se recupere naturalmente (Alanís Rodríguez *et al.*, 2023) o implementar programas de restauración, como una alternativa para recuperar los ecosistemas terrestres (López *et al.*, 2017). Una de las principales actividades en los proyectos de restauración es la revegetación a través de reforestaciones (Mata *et al.*, 2023; Preece *et al.*, 2023).

Uno de los indicadores de éxito de las reforestaciones es el porcentaje de supervivencia (Preece *et al.*, 2023), en México se solicita un mínimo de 80% de supervivencia a un año de realizar la plantación de acuerdo con las Reglas de Operación del Programa de Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable (CONAFOR, 2024). Sin embargo, no se logra cumplir con el porcentaje de supervivencia, por ejemplo, en el periodo de 2004 a 2016 se registraron porcentajes anuales de supervivencia a nivel nacional de 53% y en el estado de Nuevo León del 30% (Prieto Ruiz *et al.*, 2016).

En el matorral espinoso tamaulipeco se han desarrollado investigaciones que evalúan la supervivencia y el crecimiento y de reforestaciones con especies leñosas (Mata *et al.*, 2022, 2023; Molina *et al.*, 2023; Patiño *et al.*, 2022; Vega *et al.*, 2017). Sin embargo, los porcentajes de supervivencia son bajos oscilando entre 28.7 y 51.6% (Vega *et al.*, 2017; Mata *et al.*, 2022) y aún no se evalúan todas las especies; además, existen diferencias en los elementos y ejecución de las reforestaciones en general, como la procedencia de la planta (trasplante o vivero), características del área (valle o loma), dimensión de la plántula, fecha de plantación, enmiendas de hidrogel o enraizador y mantenimiento (riego, remoción de herbáceas, etc.), condiciones determinantes en la supervivencia y crecimiento y de las plántulas (Prieto *et al.*, 2018). Dentro de las especies que se consideran en este estudio y no se han evaluado en otras investigaciones se encuentra *Senegalia berlandieri* y *Helietta parvifolia*.

En la presente investigación se evaluó una reforestación con seis especies nativas del MET donde se realizaron labores culturales en el vivero y mantenimiento de la reforestación con la intención de alcanzar el 80% de supervivencia que indica la CONAFOR (2024). La labor cultural en el vivero fue de endurecimiento y las labores de mantenimiento comprendieron riego y remoción mensual de las herbáceas durante un año.

Los objetivos fueron i) estimar la supervivencia y ii) determinar el crecimiento de las variables estructurales de altura total (h), diámetro basal ($d_{0.10}$) y diámetro de copa (k) en una reforestación de un año de establecida con labores de mantenimiento utilizando seis especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Las hipótesis son i) que

todas las especies presentarán una supervivencia mayor al 80 % al año de ser plantadas y ii) que las especies presentarán crecimiento de altura total, diámetro basal y cobertura de copa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La investigación se desarrolló en el ejido ampliación La reforma, en el municipio de Linares, Nuevo León (Noreste de México, Figura 1). Las coordenadas de ubicación son 24°40'41.05" de latitud Norte y 99°32'12.10" de Longitud Oeste y presenta una altitud de 365 msnm. Según la clasificación de Köppen (García, 2004.) el clima es subtropical húmedo (Cfa), con una temperatura media anual entre los 20 y 21 °C. El tipo de suelo es vertisol pélico de acuerdo con la carta G14C68 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024). El área presenta una pendiente del 7.00% con exposición norte. La precipitación media anual es de 770 mm ± 46.97 (SMN, 2010). El máximo régimen pluvial se registra en septiembre con 160 a 170 mm y el mínimo en marzo con 10 y 15 mm (INEGI, 2024). La comunidad vegetal en el sitio se registró como matorral espinoso tamaulipeco (INEGI, 2024). El área de estudio previo a la reforestación presentaba un historial de aprovechamiento agropecuario, donde se presentaba compactación del suelo provocado por el pastoreo libre del ganado vacuno y uso de maquinaria, así como la siembra de pastos forrajeros de comportamiento invasor y vegetación agrícola. La superficie del área es de 10.00 ha.

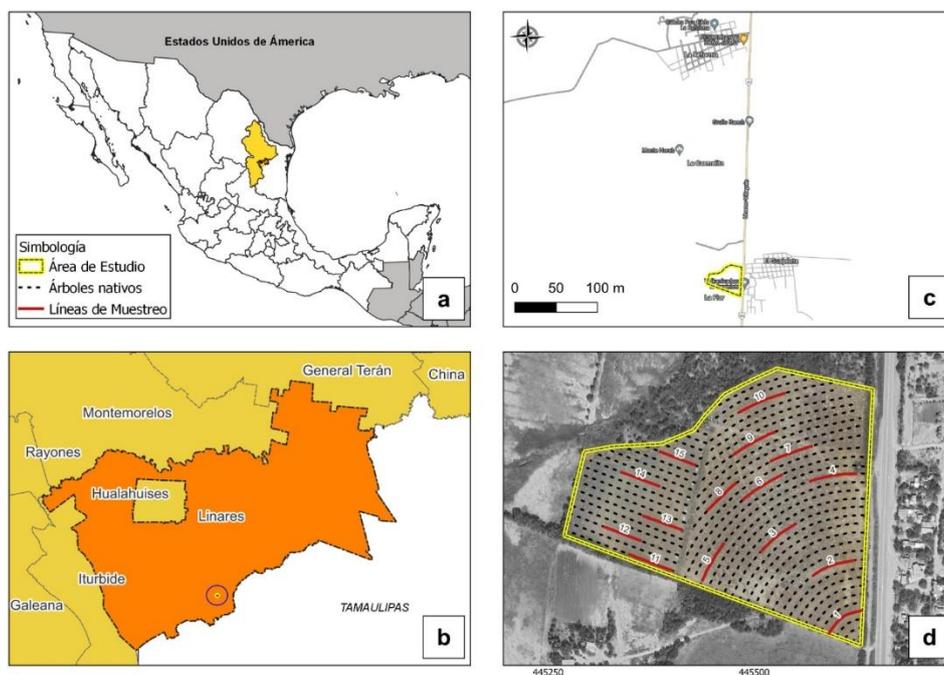


Figura 1. Ubicación del área de estudio. a) mapa de México indicando el estado de Nuevo León, b) Mapa del municipio de Linares indicando la plantación, c) ubicación con respecto a comunidades cercanas y d) plantación mostrando las curvas a nivel y las líneas de muestreo.

Figure 1. Location of the study area. a) Map of Mexico indicating the state of Nuevo León, b) Map of the municipality of Linares indicating the plantation, c) Location with respect to nearby communities, and d) Plantation showing contour lines and sampling lines.

Producción de planta. Para la investigación se consideraron seis especies leñosas, el criterio de selección fue que presentaran alta densidad de individuos en el matorral espinoso tamaulipeco y por su uso maderable y ornamental en la región (Graciano Ávila *et al.*, 2018). Las plántulas fueron producidas en un vivero forestal ubicado en el municipio de Linares, propiedad de la empresa GEMA S.C. Las semillas fueron colectadas de árboles padre de la región y recibieron un tratamiento de sumergimiento en agua corriente durante 24 horas

previo a la siembra. Las semillas fueron sembradas en bolsas de polietileno negro de 25 cm de diámetro por 30 cm de altura (2 litros), con una mezcla de sustrato compuesta por 60% tierra negra de monte 30% tepojal y 10% zoelita. La producción de planta se realizó en platabandas con malla sombra color negra del 35% y se regaron dos veces por semana y ocasionalmente tres veces, cuando la temperatura superaba los 35 °C. La producción se realizó en los meses de marzo y abril del año 2020. Antes de salir del vivero, se realizó el endurecimiento de las plántulas, el cual consistió en disminuir el riego cada 15 días durante dos meses, el primer mes bajo la malla sobra y el segundo sin la malla sombra.

Reforestación. Previo a la plantación se trazaron curvas de nivel con una separación de 10.00 m, en cada línea se ubicaron las áreas donde se realizaría la reforestación con una distancia entre plántulas de 5.0 m. Se realizaron cepas de 0.30 m de diámetro por 0.40 m de profundidad, utilizando palas y talaches. En cada cepa se agregaron 9.0 g de hidrogel hidratado agrícola de grano fino Acua-Gel®, como parte de la plantación inicial, con el fin de prevenir el estrés hídrico ante altas temperaturas de la región durante los primeros meses de establecimiento (Filio *et al.*, 2019). También se utilizó 1.5 mg/L de enraizador fitorregulador en polvo Raizone-Plus Fax para fomentar el crecimiento radicular y la recuperación de posibles heridas durante el proceso de plantación. En noviembre del año 2022 se realizó la reforestación, el número de individuos y las dimensiones de altura y diámetro basal de las plántulas que fueron plantas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Nombre científico, nombre común, número de plántulas, altura y diámetro basal (valores promedios \pm error estándar) de las plántulas utilizadas en la reforestación.

Table 1. Scientific name, common name, number of seedlings, height, and basal diameter (mean values \pm standard error) of the seedlings used in the reforestation.

Nombre científico	Nombre común	Número de plántulas	Altura (cm)	Diámetro basal (mm)
<i>Cordia boissieri</i> A.DC.	anacahuita	248	97.8 \pm 3.2	8.1 \pm 0.5
<i>Senegalia berlandieri</i> (Benth.) Britton & Rose	guajillo	248	73.1 \pm 8.6	5.4 \pm 0.7
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	ébano	245	102.6 \pm 4.8	7.1 \pm 0.4
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	mezquite	246	92.1 \pm 4.6	4.6 \pm 0.2
<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray ex Hemsl.) Benth.	barreta	245	127.1 \pm 4.5	10.0 \pm 0.4
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	tenaza	245	101.3 \pm 3.9	6.5 \pm 0.4

Una vez realizada la plantación de manera manual con una pala jardinera se realizó una terraza individual (cajete) de 1.00 m de diámetro para retener el agua de riego y lluvia. Cada plántula se aseguró con hilo a guías de madera de 0.50 m de altura para promover su crecimiento vertical y evitar su caída por el viento. A los individuos de *Prosopis glandulosa* se les colocó un protector tubular horadado de poliuretano de alta densidad de 0.66 m de longitud por 0.35 m de altura sujetado en forma circular, para evitar la depredación por herbívora (Mohsin *et al.*, 2021).

Mantenimiento de la plantación. Inmediato a la plantación de cada individuo, se realizó un riego inicial de 20.0 L por plántula. El riego se mantuvo con una frecuencia de cada 10 días durante los primeros tres meses. Del tercer al sexto mes se regó cada 20 días y del sexto al doceavo mes cada 30 días. Otra actividad de mantenimiento fue la remoción mensual de las herbáceas del área con una desbrozadora ME-DS15 utilizando la maquinaria agrícola Massey Ferguson 240, para disminuir la competencia de las herbáceas sobre las plántulas.

Evaluación en campo. Se evaluaron las plántulas al final de cada estación del año. Se realizó la primera evaluación en invierno de 2022, recién concluida la reforestación, para posteriormente hacer las mediciones en abril, julio y noviembre del 2023. Para el establecimiento de los sitios de muestreo se utilizó la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 2018), utilizada por

Mata et al. (2022), mediante el cual se establecieron 15 líneas de muestreo distribuidas de manera aleatoria, teniendo una densidad de 1.5 líneas de muestreo por cada hectárea. Dentro de cada línea de muestreo se seleccionaron los dos ejemplares de cada especie, teniendo un total de 12 individuos por la línea de muestreo.

A cada plántula se le registró si estaba viva o muerta y se le midió la altura total (h), el diámetro basal ($d_{0.10}$) y el diámetro de copa (k). La altura total se midió en centímetros con un flexómetro de 5 metros, desde la base del fuste en el suelo hasta la yema terminal del fuste (ápice). La medición del diámetro basal se efectuó a 0.10 m sobre la base del suelo de forma manual con un vernier milimétrico (Alanís *et al.*, 2008). El diámetro de copa (k) es la distancia que mide la proyección de la copa, registradas en dos direcciones, Norte-Sur y Este-Oeste y se estima un valor promedio (Alanís *et al.*, 2020).

Análisis estadísticos. Se realizó una prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk a los parámetros de altura total (h), diámetro basal ($d_{0.10}$) y diámetro de copa (k) de las especies evaluadas. Para determinar si los valores presentaban diferencias estadísticas para los datos paramétricos se utilizó un ANOVA de un factor, y para los no paramétricos la prueba de H de Kruskal-Wallis. Para determinar en qué estación del año existió diferencia se realizaron pruebas post hoc; la prueba de Tukey para el ANOVA y la de Games Howell para la prueba de H de Kruskal-Wallis. Todos los análisis se realizaron en el Software IBM SPSS Statistics (IBM Corp., 2020).

Estimación de la supervivencia. Para estimar la supervivencia de las especies a un año de la reforestación se utilizó la fórmula propuesta por la (CONAFOR, 2010).

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n ai}{\sum_{i=1}^n mi} * 100$$

Donde:

P = Proporción estimada de árboles vivos (expresada en %)

\sum = Sumatoria de los datos de acuerdo con la variable a o m

ai = Número de plantas vivas en el sitio de muestreo

mi = Número de plantas vivas y muertas en el sitio de muestreo

RESULTADOS

Altura. Los resultados indicaron que no existen diferencias estadísticas en el crecimiento durante las cuatro mediciones de las seis especies evaluadas ($p > 0.05$). Sin embargo, las especies presentaron un ligero aumento en su altura promedio entre la primera y última evaluación, las especies que tuvieron mayor crecimiento fueron *Havardia pallens* con 14.3 cm, *Senegalia berlandieri* con 10.2 cm y *Cordia boissieri* con 9.2 cm.

Diámetro basal. Cinco de las seis especies mostraron incrementos significativos en su crecimiento ($p < 0.05$). La única especie que no presentó diferencias estadísticas significativas en el crecimiento de diámetro basal ($d_{0.10}$) fue *Senegalia berlandieri* ($p = 0.101$). Considerando el diámetro basal inicial y final de cada especie se estimó la diferencia en crecimiento, obtenido que las especies con mayores valores fueron *Cordia boissieri* con 5.0 mm, *Havardia pallens* con 3.8 mm y *Helietta parvifolia* con 3.1 mm. Las especies con menor crecimiento fueron *Ebenopsis ebano* y *Prosopis glandulosa* con 1.8 y 1.5 mm respectivamente.

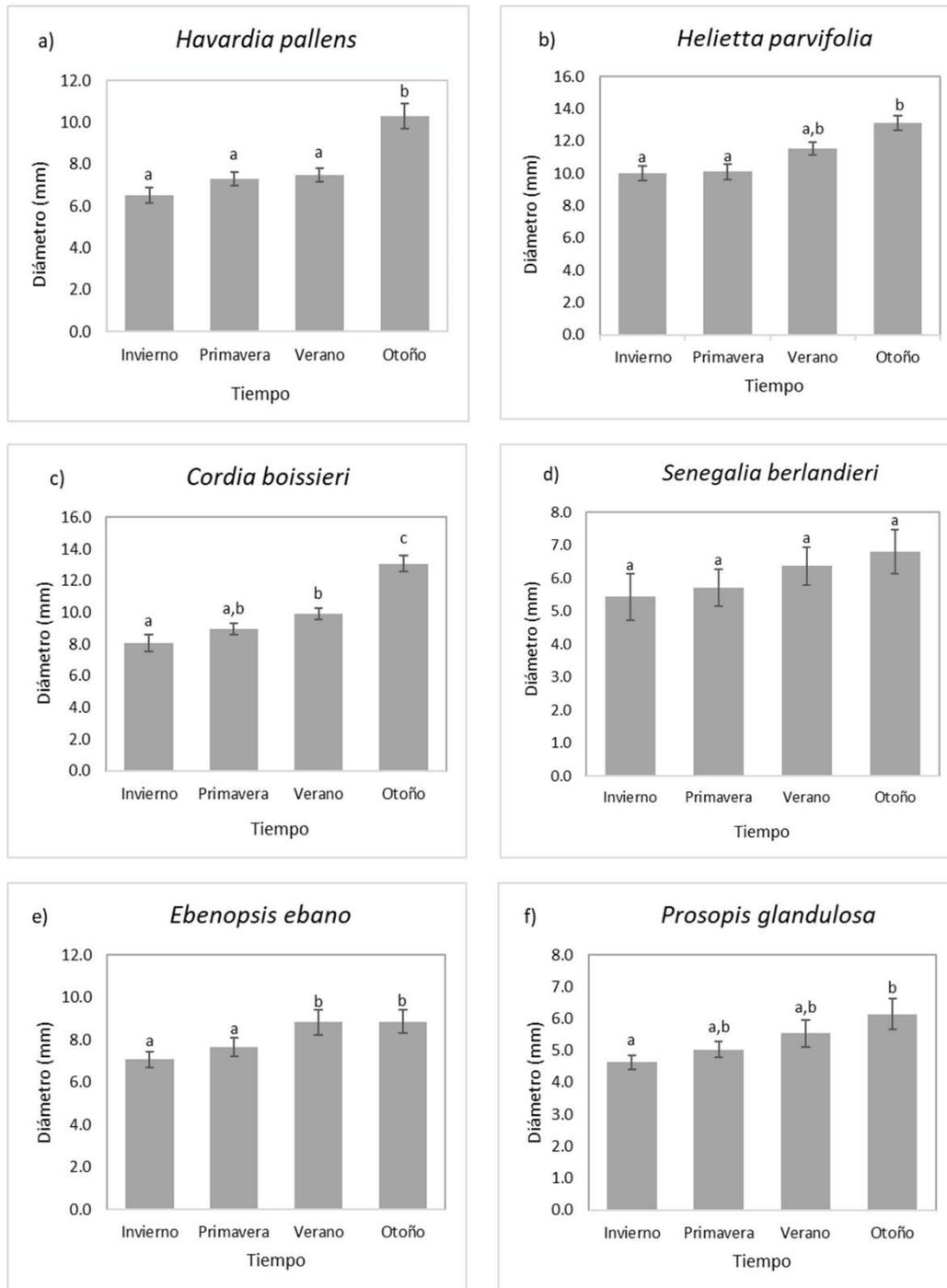


Figura 2. Crecimiento en diámetro basal (mm) de las seis especies en los cuatro periodos de evaluación (invierno, primavera, verano y otoño). Valores promedios \pm error estándar de la media calculado. Letras diferentes (a, b, c) indican niveles diferentes de significancia ($p < 0.05$).

Figure 2. Basal diameter growth (mm) of the six species in the four evaluation periods (winter, spring, summer, and autumn). Mean values \pm standard error of the mean calculated. Different letters (a, b, c) indicate different levels of significance ($p < 0.05$).

Diámetro de copa. Todas las especies mostraron incrementos significativos de diámetro de copa (k) durante el periodo evaluado ($p < 0.05$). Considerando el diámetro de copa promedio registrado en la primera y última evaluación de cada especie se estimó la diferencia. Las especies que tuvieron mayor crecimiento promedio fueron *Havardia pallens* con 56.6 cm, *Cordia boissieri* con 36.2 cm, *Senegalia berlandieri* con 25.5 cm y *Prosopis glandulosa* con

19.6 cm. Las especies que presentaron menor crecimiento fueron *Helietta parvifolia* y *Ebenopsis ebano* con un crecimiento de 10.2 y 10.0 cm respectivamente.

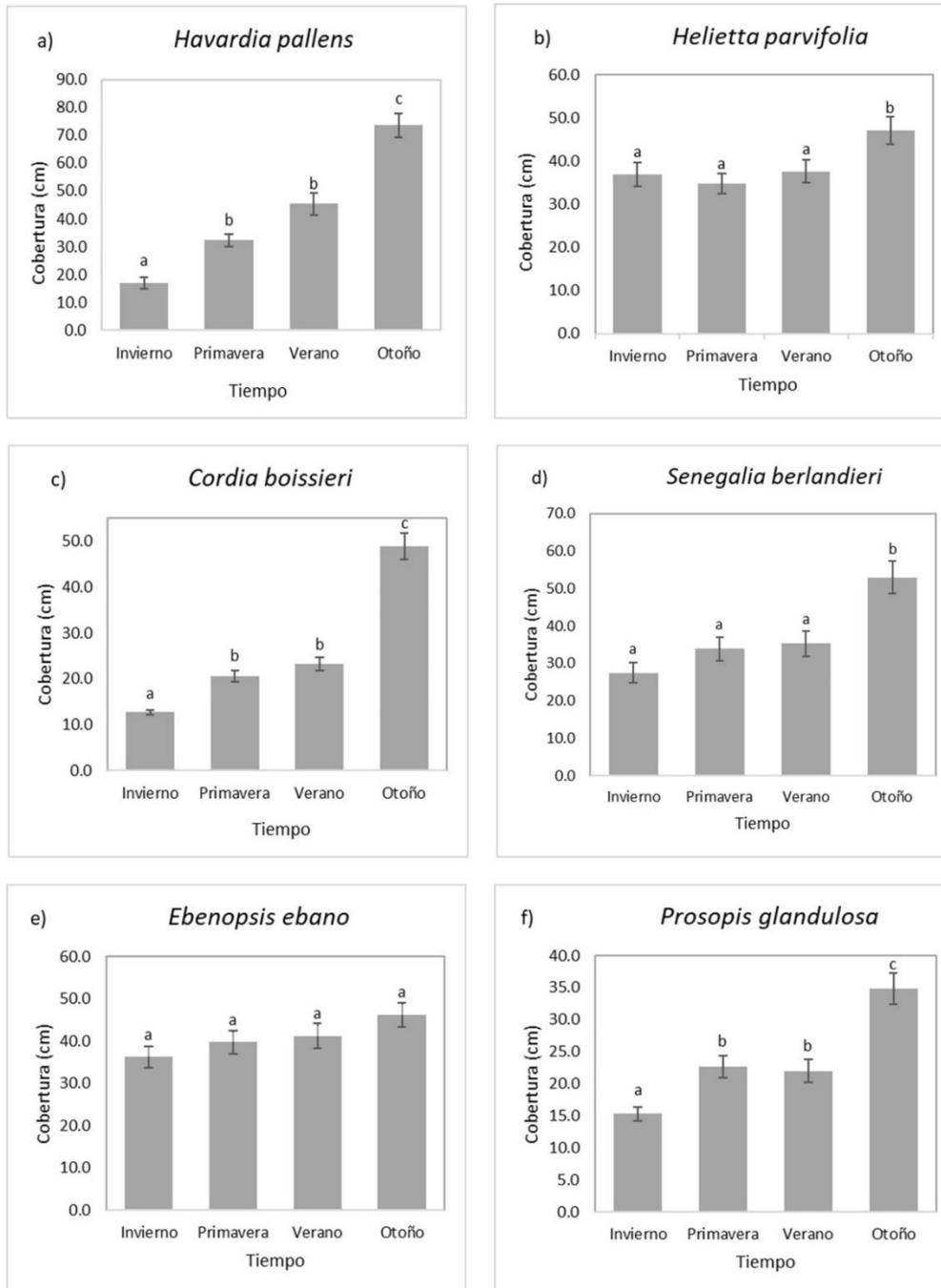


Figura 3. Crecimiento en cobertura de copa (cm) de las seis especies en los cuatro periodos de evaluación (invierno, primavera, verano y otoño). Valores promedios \pm error estándar de la media calculado. Letras diferentes (a, b, c) indican niveles diferentes de significancia ($p < 0.05$).

Figure 3. Canopy cover growth (cm) of the six species in the four evaluation periods (winter, spring, summer, and autumn). Mean values \pm standard error of the mean calculated. Different letters (a, b, c) indicate different levels of significance ($p < 0.05$).

Supervivencia. El porcentaje de supervivencia considerando todas las especies fue del 96%. En específico, *Cordia boissieri* presentó un 97%, *Senegalia berlandieri*, *Ebenopsis ebano*, *Prosopis glandulosa* y *Havardia pallens* presentaron un 96.5% y *Helietta parvifolia* un 93.3%.

DISCUSIÓN

Altura. Los resultados indican que ninguna de las seis especies presentó un crecimiento significativo en altura a un año de la reforestación ($p > 0.05$). Estos resultados concuerdan parcialmente con los de Vega *et al.* (2017), quienes también evaluaron una reforestación en el matorral espinoso tamaulipeco a un año de establecerse y no registraron incremento en la altura en cinco especies, pero sí registraron mortalidad o herbívora en cuatro (*Castela erecta*, *Cordia boissieri*, *Parkinsonia texana* y *Zanthoxylum fagara*). Este daño también fue registrado por Patiño *et al.* (2022) para dos especies (*Eysenhardtia texana* y *Leucophyllum frutescens*) a un año de haber sido plantadas, y también lo asocian a la mortalidad del tallo principal y herbívora. El hecho de que no se presente incremento en altura a un año de la reforestación es esperado, ya que como comenta Arriaga *et al.*, (1994) algunas especies del matorral presentan crecimiento limitado en la altura debido a las escasas precipitaciones (La precipitación media anual es de $770 \text{ mm} \pm 46.97$) y altas temperaturas (La temperatura media mensual más cálida está entre 30 y 31 °C y se presenta en los meses de junio, julio y agosto, llegando a alcanzar los 40 °C (INEGI, 1986)) de las localidades donde se desarrollan, canalizando su crecimiento en el diámetro basal, cobertura de copa y raíz.

Diámetro basal. Cinco de las seis especies mostraron incrementos significativos en su crecimiento ($p < 0.05$), siendo *Cordia boissieri* y *Havardia pallens* las que presentaron mayores valores. Estos resultados de incremento en diámetro basal concuerdan con los de Patiño *et al.*, (2022), quienes evaluaron una reforestación de un año con cuatro especies (*Cordia boissieri*, *Caesalpinia mexicana*, *Eysenhardtia texana* y *Leucophyllum frutescens*). Los resultados difieren parcialmente con los de Vega *et al.*, (2017) quienes evaluaron una reforestación de un año de establecida en el matorral espinoso tamaulipeco, donde cinco especies presentaron incremento en el diámetro basal (*Acacia amentacea*, *A. farnesiana*, *Eysenhardtia texana*, *Leucophyllum frutescens*, *Prosopis glandulosa*) y seis mostraron decremento (*Castela erecta*, *Cordia boissieri*, *Croton incanus*, *Forestiera angustifolia*, *Parkinsonia texana* y *Zanthoxylum fagara*); ya que presentaron como estrategia de respuesta la muerte de la parte superior de fuste principal y el rebrote en la base del tallo. Menges *et al.* (2020) y Alanís *et al.* (2020) indican que una estrategia que presentan algunas especies vegetales ante un disturbio es el rebrote, el cual les permite restablecerse después de incendios, heladas o huracanes. Una posible explicación del porque no murió la parte aérea y por consecuencia no rebrotaron las plántulas de la base del cuello de este estudio fue al riego, lo que les ayudó a disminuir el estrés hídrico, aunado a que en el vivero se sometieron a un proceso de endurecimiento previo a la reforestación, que es una práctica realizada durante la producción de planta de vivero en la que se estimulan mecanismos de resistencia a un factor de estrés (Ávila *et al.*, 2019).

Diámetro de copa. Todas las especies mostraron incrementos significativos del diámetro de copa (k) durante el periodo evaluado ($p < 0.05$). Estos resultados son similares a los de Patiño *et al.*, (2022) quienes también registraron incremento en la cobertura de copa en una reforestación de un año con cuatro especies del matorral espinoso tamaulipeco. Patiño *et al.* (2022) y Molina *et al.* (2023) indican que una variable importante en los programas de restauración ecológica es la cobertura de copa de la vegetación que se establece, ya que cubre la superficie del suelo y provee de materia orgánica. Las especies que presentaron mayor crecimiento promedio en el año de evaluación fueron *Havardia pallens* con 56.6 cm, *Cordia boissieri* con 36.2 cm, *Senegalia berlandieri* con 25.5 cm y *Prosopis glandulosa* con 19.6 cm. *Havardia pallens* y *Cordia boissieri* igual que otras especies que se establecen en las primeras fases sucesionales como *Acacia farnesiana* y *Parkinsonia aculeata* tienden a tener mayor crecimiento durante los primeros años de su establecimiento, por lo tanto, son recomendadas en los programas de restauración ecológica (Foroughbakhch *et al.*, 2001; Foroughbakhch *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2023).

Supervivencia. La supervivencia de las especies a un año de su reforestación fue de 96% , porcentaje alto comparado a otras reforestaciones realizadas en el matorral espinoso tamaulipeco (Tabla 2) y a las reforestaciones de la CONAFOR a nivel nacional de 53% y en el estado de Nuevo León del 30% (Prieto *et al.*, 2016). Con los resultados obtenidos en la investigación y los resultados de la Tabla 2 se aprecia que pudiera existir una relación entre el tamaño de la plántula y el porcentaje de supervivencia, siendo entre mayor tamaño de la

plántula mayor porcentaje de supervivencia. Estos resultados también fueron registrados por (Rojas *et al.* (2013) y Iveti^c *et al.* (2016), donde determinaron mayores porcentajes de supervivencia en plántulas de mayor tamaño.

Además del tamaño de plántula, también se pudiera atribuir el alto porcentaje de supervivencia de las especies de esta investigación a las actividades de mantenimiento de la plantación, entre ellas la más importante el riego, el cual reduce el estrés hídrico de la planta. Se ha documentado diversas reforestaciones en zonas áridas y semiáridas como los flujos de agua superficial determinan el éxito en la supervivencia y crecimiento de las plántulas (Smanis *et al.*, 2021; Valdecantos *et al.*, 2014). Otra actividad de mantenimiento fue la remoción de las herbáceas, las cuales representan una competencia por el espacio en las primeras fases de la plantación (Vega *et al.*, 2017). En el caso específico del *Prosopis glandulosa*, Mata *et al.* (2022) documentaron un bajo porcentaje supervivencia por herbívora, por lo que en esta investigación se utilizó protectores individuales, los cuales cumplieron con el objetivo de proteger las plántulas, ya que presentaron un 96.5% de supervivencia.

Tabla 2. Estudios previos de reforestaciones en el matorral espinoso tamaulipeco. Se indica la ubicación de la reforestación, las especies utilizadas, la procedencia de las plántulas, la localidad de la plantación, la altura promedio de las plántulas, el tiempo de la plantación y el porcentaje de supervivencia.

Table 2. Previous studies of reforestations in the Tamaulipan thornscrub. The location of the reforestation, the species used, the provenance of the seedlings, the locality of the plantation, the average height of the seedlings, the planting time, and the survival percentage are indicated.

Autores / ubicación	Especies	Procedencia / localidad de plantación	Altura de plántulas	Tiempo de plantación	Porcentaje de supervivencia
Vega <i>et al.</i> (2017) / Pesquería, N.L.	<i>Acacia amentacea</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Castela erecta</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Eysenhardtia texana</i> , <i>Forestiera angustifolia</i> , <i>Leucophyllum frutescens</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Zanthoxylum fagara</i> <i>Parkinsonia texana</i> , <i>Croton incanus</i> <i>Caesalpinia mexicana</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Eysenhardtia texana</i> y <i>Leucophyllum frutescens</i>	Trasplante / Valle	1.30 cm	12 meses	51.6
Patiño-Flores <i>et al.</i> (2022) / Pesquería, N.L.	<i>Celtis pallida</i> , <i>Condalia hookeri</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Diospyros texana</i> , <i>Ebenopsis ebano</i> , <i>Ehretia anacua</i> , <i>Erythrostemon mexicanus</i> , <i>Havardia pallens</i> , <i>Parkinsonia aculeata</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Senegalia berlandieri</i> , <i>Senegalia wrightii</i> , <i>Vachellia farnesiana</i> ,	Vivero / Loma	1.45 cm	41 meses	49.4
Mata <i>et al.</i> (2022) / Los Ramones, N.L.	<i>Senegalia berlandieri</i> , <i>Senegalia wrightii</i> , <i>Vachellia farnesiana</i> ,	Vivero / Valle	30 cm	31 meses	28.7

	<i>Vachellia rigidula</i> , <i>Yucca filifera</i>				
	<i>Celtis pallida</i> , <i>Condalia hookeri</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Diospyros texana</i> , <i>Ebenopsis ebano</i> , <i>Ehretia anacua</i> , <i>Erythrostemon</i> <i>mexicanus</i> , <i>Havardia</i> <i>pallens</i> ,				
Mata et al. (2023) / Cadereyta, N.L.	<i>Leucophyllum</i> <i>frutescens</i> , <i>Parkinsonia</i> <i>aculeata</i> , <i>Prosopis</i> <i>glandulosa</i> , <i>Senegalia</i> <i>berlandieri</i> , <i>Senegalia wrightii</i> , <i>Vachellia farnesiana</i> , <i>Vachellia rigidula</i> , <i>Yucca filifera</i>	Vivero / Valle	30 cm	31 meses	31.7

CONCLUSIONES

La hipótesis uno se acepta, ya que todas las especies presentaron una supervivencia mayor al 80 % a un año de ser plantadas. Este alto porcentaje podría estar asociado al tamaño de la plántula y las correctas acciones de mantenimiento de la plantación como el riego y la remoción de las herbáceas. La hipótesis dos se acepta parcialmente, ya que las especies no presentaron crecimiento en altura, pero sí en el diámetro basal y cobertura de copa. Las especies que presentaron mayores incrementos en diámetro basal y diámetro de copa fueron *Havardia pallens* y *Cordia boissieri*.

Recomendaciones

Para asegurar un porcentaje alto de supervivencia se recomienda usar plántulas mayores a 0.80 m de altura y acciones de mantenimiento de la plantación como el riego y la remoción de las herbáceas. Se recomienda generar investigaciones que evalúen la relación costo/beneficio del tamaño de la plántula y su crecimiento y supervivencia para poder proponer estrategias que optimicen las actividades de gestión. Adicionalmente se recomienda evaluar también la efectividad de la aplicación de hidrogel y enraizador en el crecimiento y supervivencia de las especies del matorral espinoso tamaulipeco.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a la empresa constructora OPERADORA TERRA REGIA S.A. DE C.V. por el apoyo para la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, Ó., Treviño Garza, E., Jurado Ybarra, E., & González Tagle, M. A. (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 11(1), 56–62.
- Alanís Rodríguez, E., Martínez Adriano, C. A., Sánchez Castillo, L., Rubio Camacho, E. A., & Valdecantos, A. (2023). Land abandonment as driver of woody vegetation dynamics

- in Tamaulipan thornscrub at Northeastern Mexico. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.15438>
- Alanís Rodríguez, E., Mora Olivo, A., & Marroquín de la fuente, J. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación* (Primera edición). Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Arriaga, M., Cervantes, G., & Vargas Mena, A. (1994). *Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas*. SEDESOL.
- Ávila Angulo, M. L., Gómez Guerrero, A., Aldrete, A., Vargas Hernández, J. J., López López, M. Á., & Hernández Ruiz, J. (2019). Does fertilization hardening improve the morphometric and physiological characteristics of *Pinus rudis* Endl. seedlings? *Revistas Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 26(1), 141–153. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.04.031>
- CONABIO (Comisión Nacional de Biodiversidad). (2011, November 22). *Matorrales*.
- CONAFOR. (2010). *Manual básico de Prácticas de reforestación*.
- CONAFOR. (2024). Reglas de Operación del Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2022. *Diario Oficial de La Federación*.
- Filio Hernández, E., González Rodríguez, H., Domínguez-Gómez, T. G., Ramírez Lozano, R. G., Cantú Silva, I., & Del S. Alvarado, M. (2019). Seasonal water relations in four native plants from northeastern Mexico. *Bio Ciencias*, 6(1), 16.
- Foroughbakhch, F., Háuad, L. A., & Céspedes, A. E. (2001). Evaluation of 15 indigenous and introduced species for reforestation and agroforestry in northeastern Mexico. *Agroforestry Systems*, Vol. 51 (3), 2013–2221. <https://doi.org/10.1023/A:1010702510914>
- 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*, Vol.2 (12), 444–453. <https://doi.org/https://doi.org/10.15739/IJAPR.016>
- Foroughbakhch, R., Hernández-Piñero, J. L., Alvarado-Vázquez, M. A., Céspedes-Cabriales, E., Rocha-Estrada, A., & Cárdenas-Avila, M. L. (2009). Leaf biomass determination on woody shrub species in semiarid zones. *Agroforestry Systems*, 77(3), 181–192. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9194-6>
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. UNAM.
- Graciano Ávila, G., Alanís Rodríguez, E., Aguirre Calderón, Ó. A., González Tagle, M. A., Rubio Camacho, E. A., & Mata Balderas, J. M. (2018). Caracterización y estructura florística de un grupo funcional vegetal del matorral espinoso tamaulipeco. *Gayana Botánica*, 75(1), 512–523. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432018000100512>
- IBM Corp. (2020). *IBM SPSS Statistics para Windows* (27.0).
- INEGI. (2024). *Síntesis geográfica del estado de Nuevo León*. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- Ivetić, V., Devetaković, J., & Maksimović, Z. (2016). Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. *Reforestación*, 1(2), 6–21. <https://doi.org/10.21750/REFOR.2.02.17>
- López Barrera, F., Martínez Garza, C., & Ceccon, E. (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>
- Mata Balderas, J. M., Cavada Prado, K. A., Sarmiento Muñoz, T. I., & González Rodríguez, H. (2022). Monitoreo de la supervivencia de una reforestación con especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71), 28–52. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1229>
- Mata Balderas, J. M., González Sánchez, C. S., Cavada Prado, K. A., & Sarmiento Muñoz, T. I. (2023). Evaluación de una reforestación y regeneración del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(79), 180–212. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1340>
- Menges, E. S., Smith, S. A., Olano, J. M., Schafer, J. L., Clarke, G., & Main, K. (2020). Effects of frequent fire and mowing on resprouting shrubs of Florida scrub, USA. *Fire Ecology*, 16(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s42408-020-0069-1>
- Mohsin, F., Arias, M., Albrecht, C., Wahl, K., Fierro-Cabo, A., & Christoffersen, B. (2021). Species-specific responses to restoration interventions in a Tamaulipan thornforest.

Recibido:
9/febrero/2024

Aceptado:
21/junio/2024

- Forest Ecology and Management*, 491(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119154>
- Molina Guerra, V. M., Mora Olivo, A., Alanís Rodríguez, E., Soto Mata, B. E., & Patiño Flores, A. M. (2019). *Plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Molina Guerra, V., Rodríguez, E. A., Cháves-Costa Collantes, A., Mora Olivo, A., Buendía Rodríguez, E., & De la Rosa Manzano, E. (2022). Restauración de un fragmento de matorral espinoso tamaulipeco: respuesta de ocho especies leñosas. *Colombia Forestal*, 26(1), 36–47. <https://doi.org/10.14483/2256201X.19056>
- Patiño Flores, A. M., Alanís Rodríguez, E., Molina Guerra, V. M., Sigala Rodríguez, J. Á., Jurado, E., González Rodríguez, H., & Aguirre Calderón, O. A. (2022). Desempeño de una reforestación con especies arbóreas nativas del matorral espinoso tamaulipeco en áreas degradadas. *Madera y Bosques*, 28(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822342>
- Preece, N. D., Van Oosterzee, P., & Lawes, M. J. (2023). Reforestation success can be enhanced by improving tree planting methods. *Journal of Environmental Management*, 336, 117645. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117645>
- Prieto Ruiz, J. A., Aldrete, A., Hernández Díaz, J. C., & Goche Télles, J. R. (2016). Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora. In *Las Reforestaciones en México. Problemas y alternativas de solución* (UJED, pp. 55–66).
- Prieto Ruíz, J. Á., Duarte Santos, A., Goche Télles, J. R., González Orozco, M. M., & Pulgarín Gámiz, M. Á. (2018). Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 151–168. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.182>
- Rojas Zamora, O., Insuasty-Torres, J., Cardenas, C. D. los Á., & Vargas Ríos, O. (2013). Reubicación de plantas de *Espeletia grandiflora* (Asteraceae) como estrategia para el enriquecimiento de áreas de páramo alteradas (PNN Chingaza, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 363–376. <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i1.11135>
- Smanis, A., Fuentes, D., Fuente, P., & Valdecantos, A. (2021). How far surface water fluxes determine restoration success in Mediterranean degraded areas? Implications for dryland precision restoration. *Journal of Arid Environments*, 187, 104445. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104445>
- Valdecantos, A., Fuentes, D., Smanis, A., Llovet, J., Morcillo, L., & Bautista, S. (2014). Effectiveness of Low-Cost Planting Techniques for Improving Water Availability to *Olea europaea* Seedlings in Degraded Drylands. *Restoration Ecology*, 22(3), 327–335. <https://doi.org/10.1111/rec.12076>
- Vega López, J. A., Alanís Rodríguez, E., Molina Guerra, V. M., Buendía Rodríguez, E., Marín Solís, J. M., & Alcalá Rojas, A. G. (2017). Selección de especies arbóreas y arbustivas para la restauración del matorral espinoso tamaulipeco. *Árido-Ciencia*, 2(1), 3–10.