



DOI: [10.29298/rmcf.v13i71.1229](https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1229)

Artículo de Investigación

Monitoreo de la supervivencia de una reforestación con especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco

Monitoring of a reforestation survival with native species of the Tamaulipas thorn scrub

José Manuel Mata Balderas^{1,2}, Karen Alejandra Cavada Prado¹, Tania Isela Sarmiento Muñoz^{1,3*}, Humberto González Rodríguez¹

Resumen

El matorral espinoso tamaulipeco es un ecosistema con alta diversidad que está afectado por actividades antropogénicas. Para contribuir a su proceso de restauración se han realizado reforestaciones con especies nativas, cuyo propósito es lograr una mayor supervivencia. En 2018, se realizó una reforestación con 15 especies nativas en un predio con uso previo agropecuario en una superficie de 15.43 ha, localizado en el municipio Los Ramones, Nuevo León. Durante los primeros dos años posteriores a la reforestación se efectuaron acciones de protección (protectores individuales y cercado) y mantenimiento (control de maleza y reposición de plantas). El objetivo de este estudio fue evaluar la supervivencia por un periodo de tres años. Se utilizó un muestreo de 10 líneas aleatorias y dispersas, se contaron 30 plantas continuas para determinar la presencia o ausencia de plantas vivas. Para 2019, 2020 y 2021 se registraron valores de supervivencia de 80.67, 95.34 y 28.7 %, respectivamente. Las especies que persistieron con mayor éxito fueron *Cordia boissieri* (16.43 %), *Prosopis glandulosa* (10.67 %), *Ebenopsis ebano* (7.56 %), *Diospyros texana* (5.89 %), *Ehretia anacua* (5.22 %), *Parkinsonia aculeata* (4.22 %), *Vachellia farnesiana* (4.11 %) y *Vachellia rigidula* (4.00 %). Se concluye que las condiciones climáticas afectaron la supervivencia de la plantación, que la selección de las especies nativas por utilizar debe considerar las condiciones de degradación del sitio, y que las actividades de protección y mantenimiento se establecen de acuerdo con los requerimientos de cada especie y se efectúan hasta asegurar la permanencia de la plantación.

Palabras clave: Compensación ambiental, ecosistema forestal semiárido, especies nativas, evaluación, mantenimiento, protección.

Abstract

The *Tamaulipas* thorn scrub (TTS) is a highly diverse ecosystem that has been affected by anthropogenic activities. For its restoration, reforestation with native species has been carried out in search of greater survival. In 2018, a reforestation was carried out with 15 native species of the TTS in a property with previous agricultural use in an area of 15.43 hectares in *Los Ramones* municipality, *Nuevo Leon*. During the first two years after reforestation, protection (individual protectors and fencing) and maintenance activities (weed control and plant replacement) were carried out. The objective of this study was to evaluate the survival of reforestation for a three year - period. A sampling of 10 random and scattered lines was used, counting 30 continuous plants to evaluate the presence or absence of living plants. For 2019, 2020 and 2021, survival values of 80.67 %, 95.34 % and 28.7 %, respectively, were recorded. The species that most successfully survived were *Cordia boissieri* (16.43 %), *Prosopis glandulosa* (10.67 %), *Ebenopsis ebano* (7.56 %), *Diospyros texana* (5.89 %), *Ehretia anacua* (5.22 %), *Parkinsonia aculeata* (4.22 %), *Vachellia farnesiana* (4.11 %) and *Vachellia rigidula* (4.00 %). It is concluded that the climatic conditions affected the survival of the plantation, the selection of native species to be used determines the success of survival and that the protection and

Fecha de recepción/Reception date: 2 de noviembre de 2021

Fecha de Aceptación/Acceptance date: 19 de abril de 2022

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

²Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S. C. México.

³Biólogos y Silvicultores Forestales por el Ambiente, A. C. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: tania.sarmz@gmail.com

maintenance activities must be established according to the requirements of each species and maintained until the permanence of the plantation is ensured.

Key words: Environmental compensation, semi-arid forest ecosystem, native species, evaluation, maintenance, protection.

Introducción

El matorral espinoso tamaulipeco (MET) es un ecosistema semiárido, con una alta diversidad de especies arbóreas y arbustivas (Leal-Elizondo *et al.*, 2018). Durante las últimas décadas, el deterioro de este ecosistema se ha incrementado como resultado de actividades antropogénicas (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2013). Una manera de disminuir los impactos ambientales en terrenos forestales es la aplicación de medidas de compensación ambiental (Cole *et al.*, 2021); entre estas hay acciones que forman parte de la restauración ecológica, que consiste en recuperar la trayectoria de sucesión y resiliencia en un ecosistema con disturbio o perturbación (Gann *et al.*, 2019). Dicha actividad puede llevarse a cabo de manera activa, al intervenir en un sitio para acelerar su recuperación; o de forma pasiva, si se detiene el disturbio y se deja que el sitio se recupere naturalmente (López-Barrera *et al.*, 2016).

Una de las acciones aplicadas en la restauración activa es la reforestación (Sánchez *et al.*, 2005; Pequeño-Ledezma *et al.*, 2012), la cual es un proceso no natural que consiste en reestablecer la vegetación forestal de forma inducida, por medio de plantaciones en un área determinada (Reyes *et al.*, 2019). La reforestación se enfoca en la obtención de productos para su aprovechamiento, o bien su objetivo es la conservación del ecosistema; en la cual, la recuperación de la biodiversidad es una prioridad, por ello se recomienda el uso de especies nativas (Cunningham *et al.*, 2015).

En México, la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la Secretaría de Defensa Nacional (Sedena), los gobiernos estatales y las organizaciones sociales han realizado grandes esfuerzos de reforestación. Entre 1985 y 1998 se registró un promedio anual de 78 500 ha año⁻¹ reforestadas (Wightman y Cruz, 2003). Del 2007 al 2012, la Conafor, mediante el programa ProÁrbol, mantuvo una meta nacional de reforestación de 400 000 ha año⁻¹; y durante el periodo de 2013 a 2018 con el Programa Nacional Forestal (Pronafor) la meta de reforestación fue de 200 000 ha año⁻¹ (Prieto y Goche, 2016).

Sin embargo, uno de los mayores retos ha sido preservar un nivel de supervivencia igual o superior al que establecen algunas organizaciones nacionales como la Conafor, la cual suele requerir dentro de las Reglas de Operación del Programa de Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable un mínimo de supervivencia de 80 % de la plantación (Conafor, 2021). En el periodo de 2004 a 2016, se registraron porcentajes anuales de supervivencia por estado y a nivel nacional de distintos tipos de ecosistemas de entre 30 y 53 %, con un promedio general de 43 % (Prieto *et al.*, 2018).

En ese contexto, es importante monitorear la supervivencia de las reforestaciones y comunicar las experiencias obtenidas en diferentes tipos de ecosistemas. Este procedimiento consiste en llevar a cabo evaluaciones consecutivas y periódicas de los aspectos cuantitativos y cualitativos de la vegetación (Prieto y Goche, 2016); con la finalidad de conocer la dinámica de la plantación en el tiempo y el espacio, mediante la determinación de parámetros como el número de individuos vivos o su estado fitosanitario, así como las circunstancias técnicas que no se consideraron al inicio de la plantación, con el propósito de implementar medidas de contención, protección y mantenimiento (Conafor, 2010).

Las evaluaciones pueden realizarse por medio de censos; sin embargo, debido a la gran cantidad de recursos y tiempo que se requieren, es recomendable medir una parte de la población a través de muestreos (Schreuder *et al.*, 2006). En un

muestreo se busca obtener datos representativos que demuestren la variabilidad existente en la población, con un nivel de confiabilidad y error de estimación (Ramírez, 2011). Los correspondientes a la supervivencia en una reforestación suelen aplicarse anualmente, y el periodo en el que se conserven dependerá de la meta establecida para el proyecto (Stein, 1992). Así, para los de reforestación derivados de una condicionante de impacto ambiental, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) suele determinar de 5 a 10 años para el mantenimiento y monitoreo; aunque para la Conafor (2009) los individuos están establecidos, cuando han sobrevivido tres años después de plantados.

En el MET, el monitoreo de supervivencia en reforestaciones con especies nativas se ha documentado para siembra directa en campo por semilla y de siembra de planta proveniente del vivero (Foroughbakhch *et al.*, 2001; Jurado *et al.*, 2006; García, 2011; Arias *et al.*, 2021).

Algunas de las condiciones de reforestación estudiadas incluyen el matorral denso y abierto, diferentes niveles de estrés hídrico y temperaturas bajo 0 °C, en competencia con malezas de temprana sucesión y con el uso de refugios individuales tubulares (Foroughbakhch *et al.*, 2001; Jurado *et al.*, 2006; García, 2011; Alexander *et al.*, 2016; Arias *et al.*, 2021). Los niveles de supervivencia citados corresponden a un intervalo amplio de 0.4 a 99 %, en función de las especies nativas utilizadas y las condiciones naturales o experimentales presentes. Hasta el momento, hay registros del uso de 18 especies nativas del MET en reforestaciones, entre ellas *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J. W. Grimes, *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose, *Senegalia berlandieri* (Benth.) Britton & Rose, *Vachellia rigidula* (Benth.) Seigler & Ebinger, *Senegalia wrightii* (A.Gray) Britton & Rose, *Cordia boissieri* A. DC. y *Prosopis glandulosa* Torr. Aunque sin utilizarse en reforestaciones mayores a 3 600 individuos o con una diversidad superior a 10 especies nativas.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la supervivencia anual de una reforestación con 15 especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco durante los tres años posteriores a su establecimiento, así como examinar su función dentro del ecosistema para contrarrestar los impactos ocasionados por la pérdida de vegetación.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el municipio Los Ramones, Nuevo León, entre los $25^{\circ}39'59.92''$ y $25^{\circ}39'40.15''$ N y los $99^{\circ}27'27.35''$ y $99^{\circ}27'24.99''$ O, a una altitud promedio de 185 m (Figura 1).

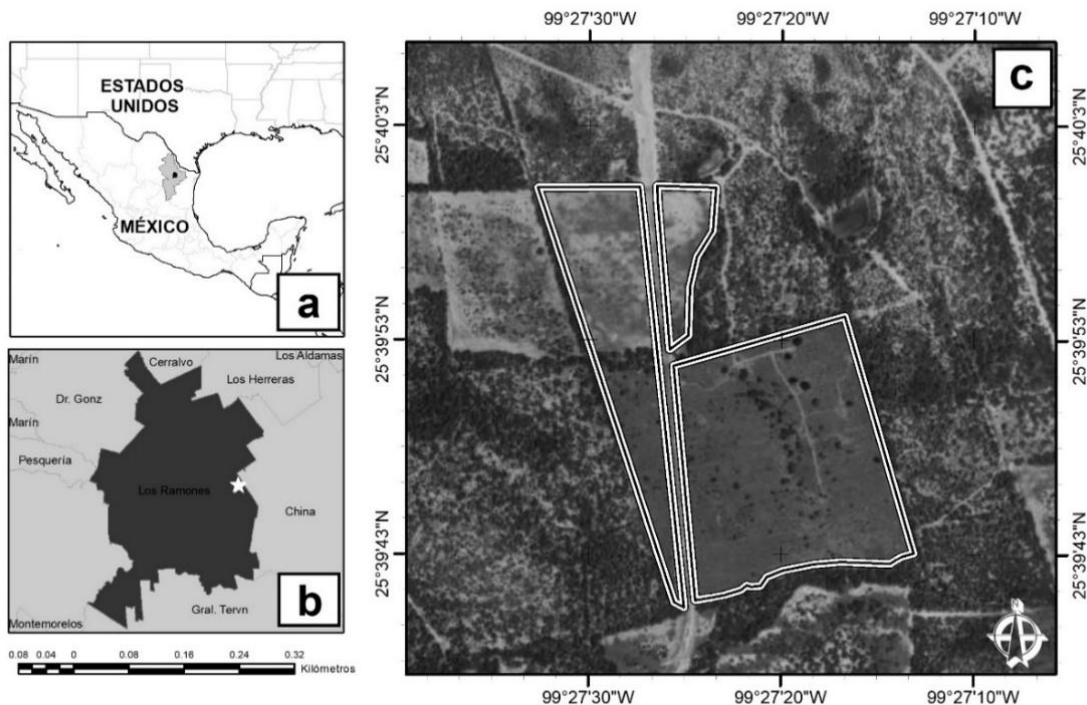


Figura 1. Sitio de estudio. a) Representación del estado de Nuevo León en el noreste de México; b) Superficie del municipio Los Ramones y ubicación del área de estudio, hacia el este; c) Imagen satelital que muestra la forma y tamaño de los polígonos de reforestación.

Los suelos presentes en el área se clasifican como Vertisol, Calcisol y Chernozem, con dos tipos de textura: media y fina. De acuerdo con la Carta Topográfica G14C27 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2019), el uso de suelo y vegetación se registran como Pastizal Cultivado Permanente y Matorral Espinoso. Conforme a la clasificación de grados de alteración de un ecosistema descrita por Conafor (2009), el sitio tiene un nivel II de alteración, ya que está desequilibrado de manera significativa, pero aún existen elementos del ecosistema inicial que sirven de referencia sobre los componentes iniciales del sistema. El clima es semiárido cálido, con temperaturas de 22 a 24 °C, lluvias entre verano e invierno mayores a 18 % anual, según la clasificación de Köppen modificada por García (2004).

Establecimiento de la plantación

En el mes de mayo del 2018, se emitió la resolución de impacto ambiental de un proyecto de generación eléctrica en el municipio Los Ramones, Nuevo León. Entre sus condicionantes se especificó cumplir con un programa de reforestación, cuyos objetivos fueron: compensar los impactos ambientales ocasionados por la pérdida de vegetación, restablecer o restaurar posibles áreas de anidación, refugio y alimentación; así como conservar e incrementar la superficie con vegetación.

Con base en el periodo de lluvias de verano de la región (Figura 2), de septiembre a diciembre del 2018 se llevó a cabo la plantación de 12 596 plantas pertenecientes a 15 especies nativas del MET (Cuadro 1). La superficie total de reforestación fue de 15.43 ha, con una densidad de 816 plantas por hectárea, en un diseño de marco real y una mezcla de especies al azar. La superficie de plantación, cantidad de individuos y selección de taxones se determinaron en función de aquellas más frecuentemente utilizadas, y con altos valores de supervivencia en los monitoreos de reforestación (Foroughbakhch *et al.*, 2001; Jurado *et al.*, 2006; García, 2011; Alexander *et al.*, 2016; Arias *et al.*, 2021).

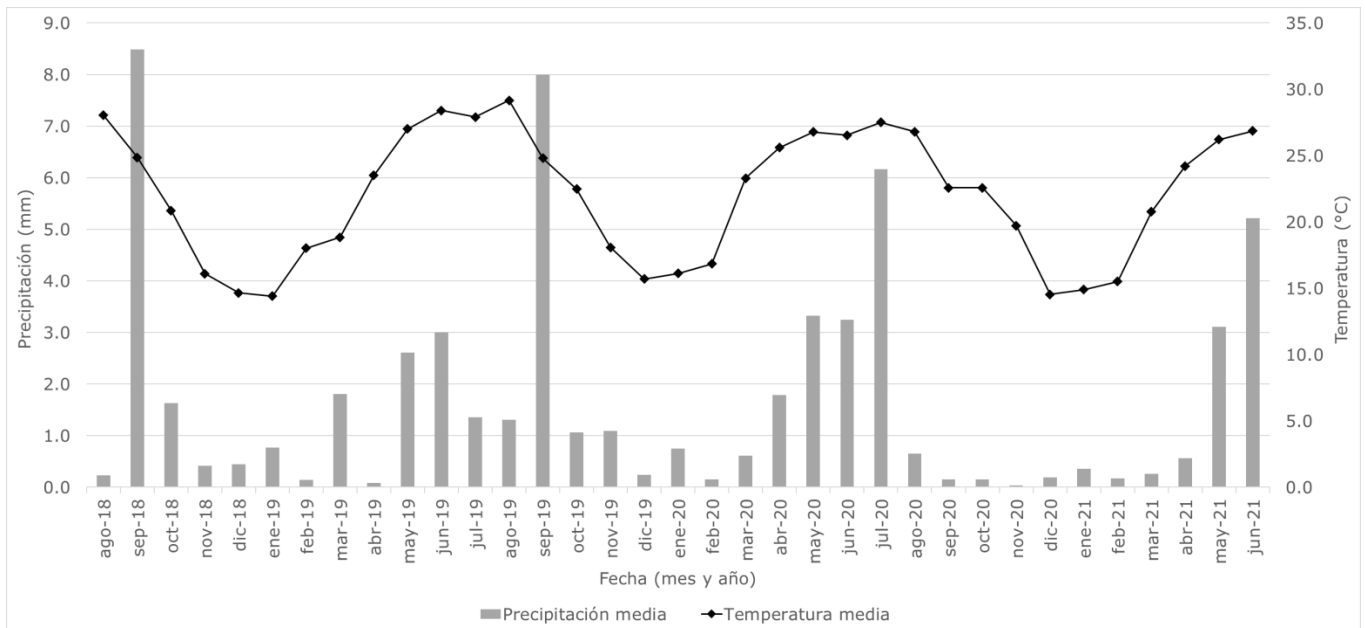


Figura 2. Temperatura (°C) y precipitación (mm) promedio mensual durante el periodo de reforestación y monitoreo (NASA, 2021).

Cuadro 1. Especies nativas del MET utilizadas en la reforestación en el municipio
 Los Ramones, Nuevo León.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Individuos establecidos	Superficie (ha)
Cannabaceae	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	512	0.63
Rhamnaceae	<i>Condalia hookeri</i> M. C. Johnst.	Brasil	378	0.46
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> A.DC.	Anacahuita	3 123	3.83
Ebenaceae	<i>Diospyros texana</i> Scheele	Chapote prieto	756	0.93
Fabaceae	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J. W.Grimes	Ébano	1 262	1.55
Boraginaceae	<i>Ehretia anacua</i> (Terán & Berland.) I. M. Johnst.	Anacua	630	0.77
Fabaceae	<i>Erythrostemon mexicanus</i> (A. Gray.) Gagnon & G. P. Lewis	Árbol de potro	294	0.36
Fabaceae	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Tenaza	420	0.51
Fabaceae	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	848	1.04
Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Mezquite dulce	2 451	3.00
Fabaceae	<i>Senegalia berlandieri</i> (Benth.) Britton & Rose	Guajillo	596	0.73
Fabaceae	<i>Senegalia wrightii</i> (Benth.) Britton & Rose	Uña de gato	428	0.52
Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	504	0.62
Fabaceae	<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Gavia	50	0.06
Asparagaceae	<i>Yucca filifera</i> Chabaud	Palma pita	344	0.42
		Total	12 596	15.4301

Las plántulas se produjeron en el vivero forestal de la empresa GEMA S.C. en la ciudad de Linares, Nuevo León. Se cultivaron durante seis meses en bolsa de poliuretano de 500 mL, hasta que alcanzaron una altura mínima de 0.30 m. Se plantaron dentro de cepas circulares, con una profundidad de 0.50 m y 0.35 m de diámetro, a una distancia entre cepas de 3.5 m y 3.5 m entre líneas. Se agregó hidrogel agrícola de grano fino (Hidrogel MX), a partir de la recomendación del

fabricante de 3 g por 30 cm de altura de planta (Acua-Gel[®], 2018), con el fin de prevenir el estrés hídrico ante las altas temperaturas de la región (Filio-Hernández *et al.*, 2019). También, se utilizó enraizador fitorregulador en polvo *Raizone-Plus Fax* (1.5 mg L⁻¹) para fomentar el crecimiento radicular vigoroso y la recuperación de posibles heridas durante el proceso de plantación (Fax México, 2018). Cada individuo se aseguró con guías de madera de 0.50 m en su tallo, y se colocó un protector tubular horadado de poliuretano de alta densidad de 0.66 m de longitud por 0.35 m de altura sujetos en forma circular, para evitar la depredación por herbivoría (Dick *et al.*, 2016; Mohsin *et al.*, 2021).

Actividades de mantenimiento

Con base en los periodos de lluvia de verano en la región (Figura 2), durante los meses de octubre de 2019 y agosto de 2020, se realizaron dos actividades de mantenimiento recomendadas por Conafor (2010): control de maleza y reposición de plantas. El control de la maleza se llevó a cabo mediante la eliminación manual de la especie invasora *Cenchrus ciliaris* L., para facilitar el crecimiento de las especies nativas deseadas (Arias *et al.*, 2021).

Para la reposición de plántulas, los taxones identificados con mayor mortalidad fueron reemplazados por aquéllos con más éxito de establecimiento, con el fin de fomentar la mayor supervivencia posible de la plantación. En agosto de 2020 finalizó el cronograma de actividades del programa de reforestación, por lo que se suspendió el mantenimiento.

Confiabilidad del muestreo

De acuerdo con la metodología propuesta por Stein (1992), se determinó el error estándar de la población total de plantación (s_p) y los límites de confianza con un nivel de probabilidad de 80 %; se probó si el tamaño de la muestra para el monitoreo era estadísticamente confiable por medio de una prueba *t Student* de dos colas.

Análisis de supervivencia

Se realizaron tres muestreos anuales para conocer la evolución de la supervivencia de la plantación durante los meses de septiembre de 2019, julio del 2020 y junio del 2021 basado en la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 2018). Se establecieron 10 líneas de muestreo distribuidas de manera aleatoria y dispersa en cada año, por línea se realizó un conteo de 30 plantas continuas, y se registró su vigor y especie (Mata *et al.*, 2010). Se utilizó la siguiente ecuación para calcular la supervivencia:

$$\% S = \left(\frac{pi}{p(N)} \right) * N$$

Donde:

$\%S$ = Porcentaje de supervivencia

pi = Número de plantas vivas

$p(N)$ = Número de plantas contadas por cada línea de muestreo

N = Número de líneas de muestreo

Para estandarizar la dinámica de reposición durante los primeros dos años de reforestación y el año de monitoreo sin mantenimiento, se calculó la supervivencia por especie al año y después su media de los tres años de monitoreo. Asimismo, se analizó la supervivencia anual total del área de estudio y se sumó la supervivencia de todas las especies en cada año de evaluación.

Resultados

Para la confiabilidad del muestreo, se determinó un error estándar de la proporción de 0.0262, con límites de confianza de 0.287 ± 0.04 para 80 % de probabilidad. La prueba *t Student* generó un tamaño de muestra de 8.6 ($n=8.6$), valor inferior a las 10 líneas de muestreo anuales que se hicieron para evaluar la supervivencia ($n=10$), por lo que se consideró que el tamaño de muestra fue estadísticamente confiable con 0.20 de nivel de significancia.

Supervivencia

La supervivencia de las 15 especies nativas del MET durante los primeros tres años de establecida la reforestación fue de 1.11 a 16.43 % (Cuadro 2). *Cordia boissieri* A. DC. y *Prosopis glandulosa* Torr. registraron la supervivencia más alta, con 16.43 y 10.67 %, respectivamente. Algunos taxones presentaron valores en un intervalo de 4.00 a 4.22 %, entre ellas *Vachellia rigidula* (Benth.) Seigler & Ebinger, *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. y *Parkinsonia aculeata* L. Las especies con los valores de supervivencia más bajos fueron *Condalia hookeri* M. C. Johnst., *Senegalia berlandieri* (Benth.) Britton & Rose y *Senegalia wrightii* (A. Gray) Britton & Rose con valores inferiores a 2 %; y *Erythrostemon mexicanus* (A. Gray.) Gagnon & G. P.

Lewis, *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose y *Yucca filifera* Chabaud con valores menores a 1 %.

Cuadro 2. Valores de supervivencia media de las especies nativas del MET utilizadas en la reforestación en el municipio Los Ramones, Nuevo León.

Nombre científico	%S media ± e.e., n = 100
<i>Cordia boissieri</i> A.DC.	16.43 ± 6.11
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	10.67 ± 5.21
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	7.56 ± 4.21
<i>Diospyros texana</i> Scheele	5.89 ± 4.12
<i>Ehretia anacua</i> (Terán & Berland.) I. M. Johnst.	5.22 ± 3.77
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	4.22 ± 1.44
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	4.11 ± 2.23
<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	4.00 ± 0.00
<i>Celtis pallida</i> Torr.	3.50 ± 0.5
<i>Senegalia berlandieri</i> (Benth.) Britton & Rose	2.44 ± 0.98
<i>Condalia hookeri</i> M. C. Johnst.	1.89 ± 1.16
<i>Senegalia wrightii</i> (Benth.) Britton & Rose	1.67 ± 1.08
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	1.44 ± 1.06
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	1.22 ± 0.75
<i>Erythrostemon mexicanus</i> (A. Gray.) Gagnon & G. P. Lewis	1.11 ± 0.71

%S media = Supervivencia media; e.e = Error estándar de la media.

El porcentaje de supervivencia anual de la reforestación se mantuvo arriba de 80 % durante los primeros dos años de establecida, debido a los esfuerzos de protección y mantenimiento, con 80.67 % para 2019 y 95.34 % para 2020. Una vez suspendidas las actividades de protección y mantenimiento, se observó un descenso en 2021 con 28.7 % de supervivencia (Figura 3).

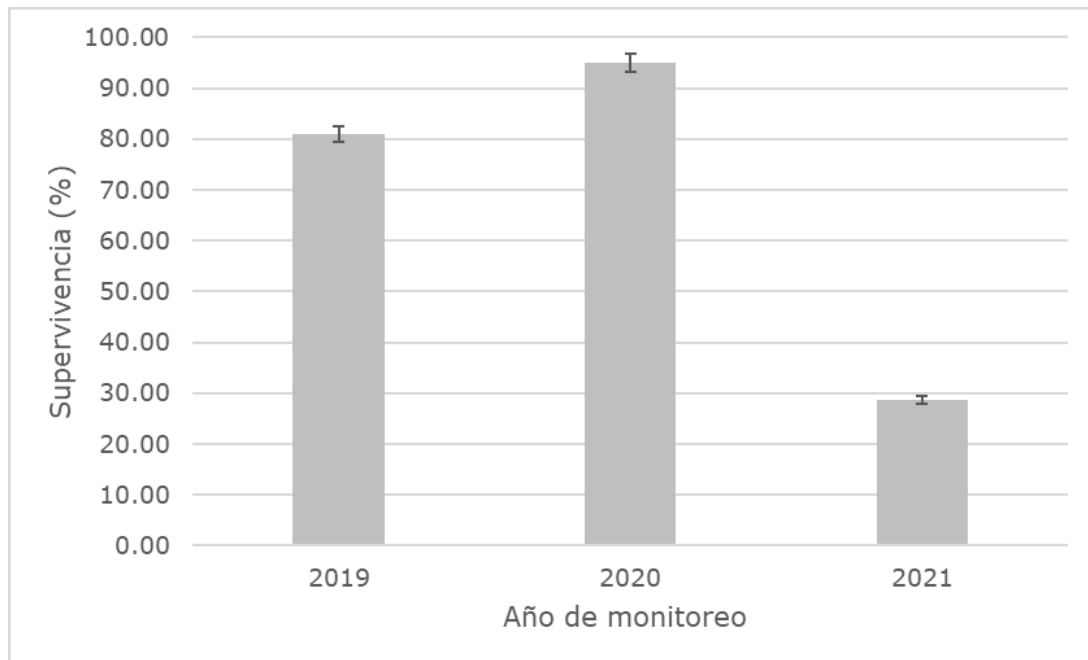


Figura 3. Supervivencia total de la reforestación al año en el MET del municipio Los Ramones, Nuevo León.

Discusión

En reforestaciones del matorral de ecosistemas áridos y semiáridos, la supervivencia de las plantaciones está sujeta a climas extremos, herbívora y competencia por recursos (Alexander *et al.*, 2016). En especial a los eventos climatológicos, como la ausencia de lluvias o la incidencia de sequías o heladas que pueden afectar significativamente a la plantación (Foroughbakhch *et al.*, 2011).

En el noreste de México, en particular, se registran heladas que se repiten aproximadamente cada 10 años, y causan graves efectos sobre el MET (Foroughbakhch *et al.*, 2011). Las heladas que se presentaron en el noreste de

México y sur de Texas en 1983 y 1989, incidieron en *C. pallida* Torr., *H. pallens* y *E. ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes, cuyos ejemplares de hasta 6 m de alto perdieron vigor desde su base (Lonard y Judd, 1991). En el área de estudio, durante el periodo del 13 al 20 de febrero de 2021 ocurrió un descenso de temperatura que llegó a los -5 °C (AccuWeather, 2021), mismo que se presume afectó adversamente a la plantación, ya que en la evaluación del 2021 se observaron daños morfológicos en diversas estructuras vegetales de las especies evaluadas, por el efecto en las plántulas de las temperaturas extremas mínimas registradas por debajo del punto de congelación del agua (0 °C); sin embargo, esto no se probó de manera experimental. De igual manera, García (2011) documentó para un matorral denso que *E. mexicanus* (A. Gray.) Gagnon & G. P. Lewis, *C. pallida*, *C. boissieri* y *E. ebano* registraron mayores valores de supervivencia (3.7 – 6.6 %) para un año con lluvias de 716.8 mm, en comparación con un año anterior con precipitación de 154.8 mm.

Las actividades de protección y mantenimiento durante los primeros dos años de la plantación fueron útiles para el establecimiento de las especies; sin embargo, no parecieron contribuir en gran medida a la supervivencia de las plántulas posterior a su retiro en 2021, ya que el porcentaje decrece drásticamente por debajo de 80 % aceptado por Conafor (2021). Por ejemplo, Mohsin *et al.* (2021) consignaron que *C. pallida* y *D. texana* Scheele presentaron una mortalidad más baja al año de plantación dentro de tubos protectores, en comparación con otras especies del MET utilizadas en la reforestación; estas observaciones coinciden con el estudio aquí descrito para *C. pallida*. Por su parte, González-Rodríguez *et al.* (2011) experimentaron con el potencial hídrico de cuatro especies del MET, y concluyeron que existen diferencias significativas en su contenido de humedad, lo cual indica que cada especie tiene una tolerancia diferente a la sequía, y por ende requerimientos diferentes de riego o de uso de suplementos como el hidrogel.

Cabe señalar que no se encontró información relacionada a la dinámica de las reposiciones de individuos que pueden ocurrir en reforestaciones del MET, por lo que se sugiere como un área de oportunidad para futuras investigaciones.

En el mismo sentido, un error común que se comete en las reforestaciones es que a todas las especies se les proporcionan iguales condiciones de establecimiento y crecimiento. Por ello, se debe profundizar en el conocimiento de las necesidades particulares de las especies por utilizar, en especial durante los primeros años de establecidas, para proponer las actividades de mantenimiento específicas a las características de cada taxón.

En cuanto a la composición de las especies utilizadas, Domínguez-Gómez *et al.* (2013) refieren que el buen desarrollo de la familia Fabaceae en el MET se asocia a su capacidad de establecimiento en condiciones ambientales adversas. Foroughbakhck *et al.* (2011) señalan la habilidad del género para fijar nitrógeno de la atmósfera a moléculas orgánicas. Si a esto se agrega la combinación con árboles con diferentes niveles de concentración de carbón y nitrógeno, como *C. boissieri* (Maiti *et al.*, 2016), se promueve una mejor calidad de humus en el suelo, lo cual a largo plazo favorece una mejora en la estructura del suelo; por lo tanto, se considera que el género *Cordia* es fundamental para el proceso de sucesión vegetal en el MET.

Asimismo, los mayores valores de importancia en el MET en distintas áreas con historial pecuario y agrícola se sustentan, frecuentemente, en las especies *V. farnesiana* (L.) Wight & Arn., *P. laevigata* y *Acacia amantacea* DC. (ahora *Vachellia rigidula*) (Pequeño-Ledezma *et al.*, 2012; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2013; Mora *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2014; Leal-Elizondo *et al.*, 2018; Sarmiento *et al.*, 2019). Los rebrotes de follaje, semillas y frutos de estas especies suelen ser muy consumidas por el ganado (Domínguez *et al.*, 2012), por lo que se facilita la escarificación de sus semillas por medio del tracto digestivo de los animales, las cuales son expulsadas al suelo y crean una reserva de semillas disponible para su rebrote,

cuando las condiciones climáticas son adecuadas (Villarreal *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2014). Particularmente en la reforestación aplicada, *P. glandulosa*, *V. rigidula* y *V. farnesiana* tuvieron valores entre 4.00 y 10.67 % de supervivencia; por ello, para futuros proyectos de reforestación en el MET se sugiere examinar el reservorio de semillas disponible en el área degradada para descartar la posibilidad de que esas especies rebroten a partir de este.

Cordia boissieri, con mayor éxito de establecimiento, no se consigna en la literatura con un índice de valor de importancia superior en la composición del MET; sin embargo, está dentro de las tres especies más notorias en áreas recuperadas después de la actividad ganadera (Leal-Elizondo *et al.*, 2018; Sarmiento-Muñoz *et al.*, 2019).

El registro de *P. glandulosa* con altos valores de supervivencia contrasta con el estudio de Foroughbakhch *et al.* (2001) quien destaca a *P. glandulosa* con el menor porcentaje de supervivencia entre 15 especies nativas del MET evaluadas bajo condiciones de herbivoría y plagas. Filio-Hernández *et al.* (2019) indican que el uso de *P. glandulosa* se recomienda para proyectos de restauración en zonas áridas, debido a su capacidad de adaptación a la baja disponibilidad de agua.

En algunos casos la acción de solo excluir los factores de disturbio de un área es suficiente para recuperar la estructura y funcionalidad de un ecosistema degradado; sin embargo, este proceso es altamente variable (Trujillo-Miranda *et al.*, 2018). Precisamente, las reforestaciones buscan acelerar la regeneración de una mayor diversidad de plantas maderables y de estadios sucesionales más avanzados, en menos tiempo (Zahawi *et al.*, 2013). En el presente trabajo se reforestó con una alta diversidad de especies del MET; aunque, las más exitosas en el establecimiento (*C. boissieri* y *P. glandulosa*) se registran en estadios de sucesión avanzada del MET, no todas las especies se desarrollan con éxito. Por lo anterior, se debe tener más conocimiento sobre el área elegida para reforestar; así como de las características del suelo, el reservorio de semillas y la presencia de vegetación remanente.

La plantación se tiene que incorporar a esta dinámica y a la selección de especies; además las prácticas de manejo por aplicarse deberán elegirse puntualmente para obtener mejores resultados y responder a las condicionantes ambientales comprometidas.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones en la reforestación establecida en el MET con 15 especies nativas, las condiciones climáticas durante el tercer monitoreo (temperaturas mínimas extremas y pocas precipitaciones) afectaron la supervivencia de la plantación. La selección de especies nativas debe hacerse con respecto a las condiciones de degradación del sitio. Las actividades de protección y mantenimiento se tienen que establecer de acuerdo a los requerimientos de cada especie y mantenerse hasta asegurar el establecimiento permanente de la plantación.

La presente evaluación ofrece información valiosa sobre el estado que guarda un proyecto de reforestación a tres años de establecido en una comunidad del MET.

Agradecimientos

Se agradece a las empresas INVENERGY y Compañía de Energía Los Ramones, S.A.P.I. de C.V., en especial al Ing. Miguel Ángel Catena, por todas las facilidades otorgadas para el desarrollo de la presente investigación; y a la Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., el Programa de Maestría en Restauración Ecológica, por el apoyo brindado.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Contribución por autor

José Manuel Mata Balderas: diseño experimental, gestión de plantación y escritura del manuscrito; Karen Alejandra Cavada Prado: análisis de datos, revisión de literatura y escritura del manuscrito; Tania Isela Sarmiento Muñoz: escritura del manuscrito, revisión de escritura y redacción; Humberto González Rodríguez: revisión de análisis de datos y resultados.

Referencias

Acua-Gel®. 2018. Uso Forestal, Acua-Gel@. https://hidrogel.com.mx/aplicaciones/uso_forestal/ (1 de agosto de 2018).

AccuWeather. 2021. Tiempo mensual en Los Ramones, Nuevo León, México. <https://www.accuweather.com/es/mx/los-ramones/234485/february-weather/234485?year=2021> (11 de agosto de 2021).

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, M. A. González-Tagle, J. I. Yerena-Yamallel, G. Cuellar-Rodríguez y A. Mora-Olivo. 2013. Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton Revista Internacional de Botánica Experimental* 82(2):185-191. <http://www.revistaphyton.fundromuloraggio.org.ar/vol82.html> (agosto de 2021).

Alexander, H. D., J. Moczygamba and K. Dick. 2016. Growth and survival of thornscrub forest seedlings in response to restoration strategies aimed at alleviating

abiotic and biotic stressors. *Journal of Arid Environments* 124:180-188. Doi: [10.1016/j.jaridenv.2015.06.014](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.06.014).

Arias, M., R. Kariyat, K. Wahl, S. Mendez, J. Chavana and B. Christoffersen. 2021. Do early-successional weeds facilitate or compete with seedlings in forest restoration? Disentangling abiotic versus biotic factors. *Ecological Solutions and Evidence* 2(3):1-13. Doi: [10.1002/2688-8319.12095](https://doi.org/10.1002/2688-8319.12095).

Cole S., P. Moksnes, T. Söderqvist, S. A. Wikström, G. Sundblad, L. Hasselström, U. Bergström, P. Kraufvelin and L. Bergström. 2021. Environmental compensation for biodiversity and ecosystem services: a flexible framework that addresses human wellbeing. *Ecosystem Services* 50:1-13. Doi: [10.1016/j.ecoser.2021.101319](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101319).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009. Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales Semarnat y Comisión Nacional Forestal Conafor. Zapopan, Jal., México. 69p.

[http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/579Restauraci%
c3%b3n%20de%20ecosistemas%20forestales.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/579Restauraci%c3%b3n%20de%20ecosistemas%20forestales.pdf) (18 de marzo del 2022).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2010. Prácticas de reforestación. Manual básico. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales Semarnat y Comisión Nacional Forestal Conafor. Zapopan, Jalisco, México. 66 p. https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF (14 de septiembre del 2021).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2021. Reglas de Operación del Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2022. Diario Oficial de la Federación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/689256/ROP_2022_CONAFOR.pdf (21 de marzo del 2022).

Cunningham, S. C., R. M. Nally, P. J. Baker, T. R. Cavagnaro, J. Beringer, J. R. Thomson and R. M. Thompson. 2015. Balancing the environmental benefits of reforestation in agricultural regions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 17(4):301-317. Doi: [10.1016/j.ppees.2015.06.001](https://doi.org/10.1016/j.ppees.2015.06.001).

Dick, K., H. D. Alexander and J. D. Moczygamba. 2016. Use of shelter tubes, grass-specific herbicide, and herbivore exclosures to reduce stressors and improve

restoration of semiarid thornscrub forests. *Restoration Ecology* 24(6):785-793. Doi: [10.1111/rec.12373](https://doi.org/10.1111/rec.12373).

Domínguez G., T. G., R. G. Ramírez L., A. E. Estrada C., L. M. Scott M., H. González R. y M. S. Alvarado. 2012. Importancia nutrimental en plantas forrajeras del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL* 15(59):77-93. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/2721> (agosto de 2021).

Domínguez G., T. G., H. González R., R. G. Ramírez L., A. E. Estrada C., I. Cantú S., M. V. Gómez M., J. Á. Villarreal Q., M. S. Alvarado y G. Alanís F. 2013. Diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(17):106-122. Doi: [10.29298/rmcf.v4i17.425](https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.425).

Fax México. 2018. *Raizone*-PlusFAX*. https://www.tacsa.mx/DEAQ/src/productos/1835_43.htm (1 de agosto de 2018).

Filio-Hernández, E., H. González-Rodríguez, T. G. Domínguez-Gómez, R. G. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva and M. del S. Alvarado. 2019. Seasonal water relations in four native plants from northeastern Mexico. *Revista Bio Ciencias* 6:1-16. Doi: [10.15741/revbio.06.e605](https://doi.org/10.15741/revbio.06.e605).

Foroughbakhch, F., J. L. Hernández-Piñero, M. A. Alvarado-Vázquez, A. Carrillo-Parra, C. G. Velasco M. and A. Rocha E. 2011. Native plants of northeastern Mexico: their potential in the restoration of damaged ecosystems. *In: Marin, L. y D. Kovac (Eds.). Native species*. Nova Science Publishers, Inc. Hauppauge, NY, USA. pp. 85-116.

Foroughbakhch, F., L. A. Háuad, A. E. Cespedes, E. E. Ponce and N. González. 2001. Evaluation of 15 indigenous and introduced species for reforestation and agroforestry in northeastern Mexico. *Agroforestry Systems* 51(3):213-221. Doi: [10.1023/A:1010702510914](https://doi.org/10.1023/A:1010702510914).

Gann, G. D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J. G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverria, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler and K. W. Dixon. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology* 27(S1) Special Issue:S1-S46. Doi: [10.1111/rec.13035](https://doi.org/10.1111/rec.13035).

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros (Obra general). Quinta Edición. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 97 p. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1> (14 de septiembre de 2021).

García J., F. 2011. Can environmental variation affect seedling survival of plants in northeastern Mexico? *Archives of Biological Sciences* 63(3):731-737. Doi: [10.2298/ABS1103731G](https://doi.org/10.2298/ABS1103731G).

González-Rodríguez, H., I. Cantú-Silva, R. G. Ramírez-Lozano, M. V. Gómez-Meza, J. Sarquis-Ramírez, N. Coria-Gil, J. R. Cervantes-Montoya and R. K. Maiti. 2011. Xylem water potentials of native shrubs from northeastern Mexico. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 61(3):214-219. Doi: [10.1080/09064711003693211](https://doi.org/10.1080/09064711003693211).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2019. Información Topográfica. G14C27 San Juan escala 1:50 000 serie III. (ITRF08 época 2010.0) <https://www.inegi.org.mx/programas/topografia/50000/#Descargas> (23 de marzo del 2022)

Jurado, E., J. F. García, J. Flores and E. Estrada. 2006. Leguminous seedling establishment in Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 221:133–139. Doi: [10.1016/j.foreco.2005.09.011](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.011).

Leal-Elizondo, N. A., E. Alanís-Rodríguez, J. M. Mata-Bautista, E. J. Treviño-Garza y J. I. Yerena-Yamallel. 2018. Estructura y diversidad de especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco regenerado postganadería en el noreste de México. *Polibotánica* 45:75-88. Doi: [10.18387/polibotanica.45.6](https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.6).

Lonard, R. I. and F. W. Judd. 1991. Comparison of the effects of the severe freezes of 1983 and 1989 on native woody plants in the lower Rio Grande Valley, Texas. *The Southwestern Naturalist* 36(2):213-217. Doi: [10.2307/3671923](https://doi.org/10.2307/3671923).

López-Barrera, F., J. G. García-Franco, K. Mehlreter, O. Rojas-Soto, A. Aguirre, R. Landrave, A. Ortega-Pieck, B. Montes-Hernández, K. Aguilar-Dorantes, A. A. Díaz-Sánchez, G. Vázquez-Carrasco y B. B. Rojas S. 2016. Ecología de la restauración del bosque nublado en el centro de Veracruz. *In*: E. Ceccon y C. Martínez-Garza

(Coords.). Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. México. Editorial Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias – Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). Cuernavaca, Morelos, México. pp 103-129.

Maiti, R., H. González R. and A. Kumari. 2016. Adaptive strategy of woody trees and shrubs of Tamaulipan Thorn Scrub in xeric environments. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 7(6):1403-1408. Doi: [10.23910/ijbsm/2016.7.6.1708](https://doi.org/10.23910/ijbsm/2016.7.6.1708).

Martínez H., D. D., J. Jiménez P., E. Alanís R., J. I. Uvalle S., P. A. Canizales V. y L. Rocha D. 2014. Regeneración natural del matorral espinoso tamaulipeco en una plantación de *Eucalyptus spp.* *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(21):95-107. Doi: [10.29298/rmcf.v5i21.360](https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i21.360).

Mata B., J. M., E. J. Treviño G., J. Jiménez P., Ó. Aguirre C., E. Alanís R. y W. E. Salinas C. 2010. Evaluación de la siembra directa con especies de pino en la restauración de un ecosistema semi-árido templado. *Ciencia UANL* 13(1):72-77. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40211897011.pdf> (29 de noviembre de 2021)

Mohsin F., M. Arias, C. Albrecht, K. Wahl, A. Fierro-Cabo and B. Christoffersen. 2021. Species-specific responses to restoration interventions in a Tamaulipan thornforest. *Forest Ecology and Management* 491:1-13. Doi: [10.1016/j.foreco.2021.119154](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119154).

Mora D., C. A., E. Alanís R., J. Jiménez P., M. A. González T., J. I. Yerena Y. y L. G. Cuellar R. 2013. Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología aplicada* 12(1):29-34. Doi: [10.21704/rea.v12i1-2.435](https://doi.org/10.21704/rea.v12i1-2.435).

National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2021. Prediction of worldwide energy resource. POWER Data Access Viewer. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (7 de Julio del 2021).

Pequeño-Ledezma, M. Á., E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, M. A. González-Tagle, J. I. Yerena-Yamallel, G. Cuellar-Rodríguez y A. Mora-Olivo. 2012. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *CienciaUAT* 7(1):48-53. Doi: [10.29059/cienciauat.v7i1.39](https://doi.org/10.29059/cienciauat.v7i1.39).

Prieto R., J. Á. y J. R. Goche T. 2016. Las reforestaciones en México: Problemática y alternativas de solución. Durango, México. Editorial de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo., México. 81 p. <https://www.ujed.mx/publicaciones/editorial-ujed/las-reforestaciones-en-mexico-problematica-y-alternativas-de-solucion> (8 de octubre del 2021).

Prieto R., J. Á., A. Duarte S., J. R. Goche T., M. M. González O. y M. Á. Pulgarin G. 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. Doi: [10.29298/rmcf.v9i47.182](https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.182).

Ramírez D., M. 2011. Metodología para realizar y presentar los informes de sobrevivencia inicial (ISI) de las plantaciones forestales comerciales (Aspectos técnicos). No. 1. Comisión Nacional Forestal Conafor, ProÁrbol y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales Semarnat. 19 p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?grupo=6&articulo=1564>. (7 de julio de 2021).

Reyes G., E., G. E. Hernández J. y A. E. Calvillo A. 2019. Evaluación de la sobrevivencia en sitios reforestados como indicador de la restauración del paisaje en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. *Tlalli Revista de Investigación en Geografía* 1(2):97-117. Doi: [10.22201/ffyl.26832275e.2019.2.1087](https://doi.org/10.22201/ffyl.26832275e.2019.2.1087).

Rodríguez S., E. N., G. E. Rojo M., B. Ramírez V., R. Martínez R., M. C. Cong H., S. M. Medina T. y H. H. Piña R. 2014. Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai* 10(3):173-193. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111013> (29 de noviembre de 2021).

Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara. 2005. Temas sobre restauración ecológica. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U. S. Fish and Wildlife Service y Unidos para la Conservación A. C. México, D. F. México. 255 p. https://www.researchgate.net/publication/291425685_Temas_sobre_Restauracion_Ecologica (8 de octubre del 2021).

Sarmiento-Muñoz, T. I., E. Alanís-Rodríguez, J. M. Mata-Balderas y A. Mora-Olivo. 2019. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa en un área de matorral

espinoso tamaulipeco con actividad pecuaria en Nuevo León, México. *CienciaUAT* 14(1): 31-44. Doi: [10.29059/cienciauat.v14i1.1001](https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1001).

Schreuder, H. T., R. Ernst y H. Ramírez M. 2006. Técnicas estadísticas para muestreo y monitoreo de recursos naturales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. Méx., México. 151 p. http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/tecnicas_estadisticas_evaluacion_y_monitoreo_2006.pdf (11 de Julio del 2021).

Stein, W. I. 1992. Regeneration surveys and evaluation. In: S. D. Hobbs (Ed.), *Reforestation practices in southwestern Oregon and northern California*. Forest Research Laboratory Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 346-382. <https://ir.library.oregonstate.edu/concern/defaults/g732d954s?locale=en>. (15 de julio de 2021).

Trujillo-Miranda, A. L., T. Toledo-Aceves, F. López-Barrera and P. Gerez-Fernández. 2018. Active versus passive restoration: Recovery of cloud forest structure, diversity and soil condition in abandoned pastures. *Ecological Engineering* 117:50-61. Doi: [10.1016/j.ecoleng.2018.03.011](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.03.011).

United States Department of Agriculture (USDA). 2018. *Forestry Inventory Methods*. Forestry Technical Note No. FOR-1 (Nº 1). United States Department of Agriculture USDA. Washington, DC, USA. 30 p. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=42554.wba> (25 de julio de 2021).

Villarreal G., J. A., A. Rocha E., M. L. Cárdenas-Ávila, S. Moreno L., M. González Á., y V. Vargas L. 2013. Caracterización morfométrica, viabilidad y germinación de semillas de mezquite y huizache en el noreste de México. *Phyton* 82(2):169-174. <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v82n2/v82n2a03.pdf> (3 de diciembre del 2021).

Wightman, K. E. y B. S. Cruz. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana* 5(1):45-51. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49750108.pdf> (29 de noviembre de 2021).

Zahawi, R. A., K. D. Holl, R. J. Cole and J. L. Reid. 2013. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Journal of Applied Ecology* 50:88–96. Doi: [10.1111/1365-2664.12014](https://doi.org/10.1111/1365-2664.12014).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* [Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.