



**Acta Botanica
Mexicana**

Desempeño de arbustos nodriza plantados en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, para mejorar reforestaciones de *Abies religiosa* (Pinaceae)

Performance of nurse shrubs planted in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve to improve reforestation of *Abies religiosa* (Pinaceae)

Legna Anaid Pérez-Cruz¹, Luis Eduardo Baltazar-Cruz², Verónica Osuna-Vallejo^{3,4}, Ma. Guadalupe Joaquín-Juan⁴, Cuauhtémoc Saénz-Romero⁴, Arnulfo Blanco-García⁵, Leonel López-Toledo⁶, Ana Gabriela Zacarías-Correa^{4,7}

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Los bosques de oyamel en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) están siendo seriamente amenazados por sequías más cálidas y por plagas (escarabajo descortezador) debido al cambio climático, lo cual ha producido un declive en el número de árboles que son el hábitat invernal de la mariposa monarca. Los objetivos de este trabajo fueron: (1) estimar la supervivencia y crecimiento de dos especies de arbustos plantados en un sitio altamente perturbado de la Zona Núcleo de la RBMM; (2) determinar el efecto del tamaño inicial de planta y su disposición en la supervivencia y crecimiento de los arbustos; (3) estimar el tiempo que les llevará alcanzar 1 m de altura, misma que se considera necesaria para que funcionen como nodrizas del oyamel.

Métodos: Se establecieron 30 bloques completos al azar, en los cuales se sembraron plántulas de *Ageratina glabrata* y *Baccharis conferta* producidas en vivero. Se evaluó la supervivencia y crecimiento durante 2.5 años.

Resultados clave: La supervivencia e incremento en altura promedio fue de 42% y 36.2 cm para *A. glabrata* y 49% y 31.3 cm para *B. conferta*, respectivamente. Con base en los datos de incremento de altura de los arbustos se estimó que el tiempo necesario para que ambas especies alcancen 1 m es aproximadamente cinco años.

Conclusiones: Cuando no hay arbustos preexistentes en el sitio a reforestar con oyamel, es viable establecer un dosel de arbustos nodriza; sin embargo, se recomienda que los arbustos sean plantados cinco años previos a la reforestación con oyamel.

Palabras clave: *Ageratina glabrata*, *Baccharis conferta*, cambio climático, restauración ecológica.

Abstract:

Background and Aims: The sacred fir forests in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) are seriously threatened by warmer droughts and pests (bark beetles) due to climate change, which has led to a decline in the number of trees that provide winter habitat for the monarch butterfly. The objectives of this work were: (1) to estimate the survival and growth of two shrub species planted in a highly disturbed site of the Core Zone of the MBBR; (2) to determine the effect of the initial plant size and its arrangement on the survival and growth of the shrubs; (3) to estimate the time it will take them to reach 1 m in height, which is considered necessary for them to function as nurse plants for the sacred fir.

Methods: Thirty complete blocks were established randomized, in which nursery-produced *Ageratina glabrata* and *Baccharis conferta* seedlings were planted. Survival and growth were evaluated for 2.5 years.

Key results: Average survival and height increase were 42% and 36.2 cm for *A. glabrata* and 49% and 31.3 cm for *B. conferta*, respectively. Based on the shrub height increase data, it was estimated that the time required for both species to reach 1 m is approximately five years.

Conclusions: When there are no preexisting shrubs at the site to be reforested with sacred fir, establishing a canopy of nurse shrubs is feasible; however, it is recommended that shrubs be planted five years prior to reforestation with sacred fir.

Key words: *Ageratina glabrata*, *Baccharis conferta*, climate change, ecological restoration.

¹Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Maestría en Ciencias en Ecología Integrativa, 58330 Morelia, Michoacán, México.

²Comisión Nacional del Agua, 58295, Poblado de Oco-lusen, Morelia, Michoacán, México.

³Investigadoras e Investigadores por México, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECINTI), 58330 Morelia, Michoacán, México.

⁴Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Laboratorio de Genética Forestal, 58330 Morelia, Michoacán, México.

⁵Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Biología, 58030 Morelia, Michoacán, México.

⁶Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Laboratorio de Ecología Vegetal, 58330 Morelia, Michoacán, México.

⁷Autora para la correspondencia: agabriela.zacarias@gmail.com

Recibido: 11 de agosto de 2025.

Revisado: 10 de septiembre de 2025.

Aceptado por Moisés Méndez-Toribio: 10 de marzo de 2026.

Publicado Primero en línea: 27 de marzo de 2026.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 133(2026).

Citar como: Pérez-Cruz, L. A., L. E. Baltazar-Cruz, V. Osuna-Vallejo, M. G. Joaquín-Juan, C. Saénz-Romero, A. Blanco-García, L. López-Toledo y A. G. Zacarías-Correa. 2026. Desempeño de arbustos nodriza plantados en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, para mejorar reforestaciones de *Abies religiosa* (Pinaceae). Acta Botanica Mexicana 133: e2503. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm133.2026.2503>



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.) de México se distribuyen principalmente en el Eje Neovolcánico Transversal, en la Sierra Madre del Sur, en pequeñas regiones de la Sierra Madre Occidental y (en menor abundancia) en la Sierra Madre Oriental (Rzedowski, 2006; Pérez-Miranda et al., 2018). Crecen principalmente en un rango altitudinal entre 2400 y 3500 m (Rzedowski et al., 2001; Sánchez-González et al., 2005; Rzedowski, 2006; Encina-Domínguez et al., 2008). Este ecosistema es importante en términos ecológicos y de interés para la conservación, ya que, entre otras cosas, sus rodales dentro de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM) forman parte del fenómeno migratorio de insectos más grande del mundo, sirviendo de hábitat a las poblaciones migratorias de la mariposa monarca (*Danaus plexipus* L., 1758) durante su estancia invernal (noviembre-marzo).

Actualmente, los bosques de oyamel se encuentran amenazados debido a diferentes factores de degradación como eventos meteorológicos extremos (Brower et al., 2017), modificación en el régimen del fuego y pastoreo (Saavedra-Romero et al., 2003), eventos esporádicos de tala ilegal (CONANP, 2016) y cada vez en mayor medida plagas (principalmente escarabajo descortezador) y enfermedades (Gómez-Pineda et al., 2023). En la Zona Núcleo de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (RBMM), para el período 2003-2007, se reportó una pérdida de 250 ha por año en promedio (López-García, 2007). Aunado a lo anterior, entre febrero de 2015 y mayo de 2016 se registró una pérdida de cobertura forestal de 72.30 ha de bosques en la Zona Núcleo debido a una tormenta invernal (Brower et al., 2017).

Se prevé que los escenarios del cambio climático propiciarán una disminución significativa del hábitat climático de los bosques de oyamel, debido a que se proyecta un aumento de la temperatura y disminución de la precipitación en su área de distribución (Sáenz-Romero et al., 2012). Esto impactará en la reducción del vigor de los árboles, lo que facilitará un aumento en la incidencia de ataque de escarabajos descortezadores (*Scolytus mundus* Wood, 1968 y *Pseudohylesinus* spp.), que han causado una mortalidad de árboles adultos dentro de la RBMM (López-

Gómez et al., 2015; Gómez-Pineda et al., 2022). Debido a lo anterior, es necesario implementar estrategias de restauración ecológica del bosque previo a las reforestaciones para asegurar una mayor supervivencia y crecimiento de las plántulas de oyamel (Blanco-García et al., 2011).

La restauración de ecosistemas degradados se ha basado tradicionalmente en la reforestación con especies vegetales locales (CONABIO, 2021). Una técnica novedosa es utilizar arbustos de sucesión como planta nodriza (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2009; Blanco-García et al., 2011; Martínez-Arévalo, 2015). Las plantas nodrizas brindan protección (y en ocasiones, recursos) a plántulas de las especies arbóreas en un ambiente difícil, mientras estas últimas crecen lo suficiente para enfrentar las condiciones del medio (Cavieres et al., 2006). Además, el establecimiento de especies arbustivas como plantas nodriza incrementa la diversidad vegetal (Navarro-Cano et al., 2019).

En proyectos de restauración ecológica del oyamel se tienen experiencias positivas del uso de *Baccharis vaccinioides* Kunth (Martínez-Arévalo, 2014; 2015; 2016; 2018). Se ha logrado incrementar significativamente la supervivencia de plántulas de *Abies religiosa* al plantarse bajo la sombra de arbustos preexistentes (principalmente *Baccharis conferta* Kunth) en el Zona Núcleo de la RBMM (Carbajal-Navarro et al., 2019). En la Zona Núcleo de la RBMM, particularmente en el Ejido La Mesa, municipio San José del Rincón, el arbusto *Ageratina glabrata* (Kunth) R.M.King & H.Rob crece mezclado con *B. conferta* (observación personal), lo que hace suponer que la primera pudiera tener también un papel relevante como planta nodriza. Sin embargo, en la RBMM no se ha experimentado el establecimiento *de novo* de un dosel de plantas nodriza, en sitios perturbados donde los arbustos están esencialmente ausentes.

El establecimiento de arbustos en sitios desprovistos de este estrato de vegetación, debido a los efectos de la perturbación y con la finalidad de que funcionen como plantas nodriza en las reforestaciones de oyamel, puede llevarse a partir de la producción en vivero de plántulas a partir de propagación vegetativa (esquejes) o bien a partir de la germinación de semillas. Una vez que estas plántulas alcancen una altura adecuada, se llevan al campo con



la finalidad de establecer un dosel de arbustos en puntos clave y con antelación al establecimiento del oyamel (Martínez-Arévalo, 2015, 2016, 2018; Carbajal-Navarro et al., 2019). Es importante mencionar que al hacer referencia al término dosel arbustivo en este trabajo, nos referimos al área de hojas y ramas de arbustos que crean sombra debajo de estos.

Por tradición se sabe que el plantar individuos propagados en vivero, y que tienen una talla grande, usualmente logran tener una supervivencia proporcionalmente mayor en campo respecto a las plántulas de tamaño pequeño; sin embargo, el que una plántula tenga una altura mayor implica que los costos de producción en vivero sean más altos (Alvarado-Sosa et al., 2007). Por lo anterior, es de interés poder establecer si es factible que plántulas de talla pequeña puedan tener una supervivencia e incremento en altura similar a los de talla grande, lo cual implicaría poder tener una mayor cantidad de plántula disponible en el menor tiempo posible y reduciendo además el costo de mantenimiento en vivero.

Hasta el momento, no existe una referencia en la literatura sobre la talla adecuada que los arbustos de *A. glabrata* y *B. conferta* deban tener para funcionar adecuadamente como nodrizas. Por lo anterior, con base en las observaciones de un experimento previo (Carbajal-Navarro et al., 2019), los autores consideran que 1 m es una talla suficiente para que los arbustos establecidos puedan servir como nodrizas, al proveer de una sombra adecuada a las plántulas de oyamel.

Los objetivos de este trabajo fueron: (1) estimar la supervivencia y crecimiento de arbustos de *A. glabrata* y *B. conferta* plantados en un sitio altamente perturbado de la Zona Núcleo de la RBMM; (2) determinar el efecto del tamaño inicial de planta y su disposición (especies separadas o juntas en una misma parcela experimental) en la supervivencia y crecimiento de *A. glabrata* y *B. conferta*; (3) estimar el tiempo que le llevará a las plántulas de *A. glabrata* y *B. conferta* alcanzar una talla de 1 m de altura, mismo que se estima es la altura recomendable para que estas funcionen adecuadamente como nodrizas. Lo anterior con la finalidad de establecer un dosel arbustivo que pueda albergar futuras reforestaciones de oyamel.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el paraje “Monera Alta”, a una altitud de 3400 m (19°40'24.89"N, 100°17'34.39"W), en el Ejido Cerro Prieto dentro de la Sierra Chincua, Zona Núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), municipio Angangueo, Michoacán, que está en los límites de los estados de Michoacán y Estado de México (Fig. 1). El sitio de estudio presenta temperaturas máximas de 15.5 °C y mínimas de 4.5 °C, con una precipitación media anual de 1093 mm. Los datos de temperatura que se muestran se obtuvieron a partir de una estimación climática usando la base de datos del Research on Forest Climate Change: Predicted Effects of Global Warming on Forests and Plant Climate Relationships in Western North America and Mexico (RFCC, 2023), la cual toma como base para los análisis climáticos los “splines” de Sáenz-Romero et al. (2010).

Al área habitualmente llegaban colonias de mariposa monarca, dominada originalmente por árboles de *A. religiosa* de gran tamaño, pero cuyo arbolado fue derribado en gran medida por la tormenta invernal de marzo de 2016 (CONANP, 2016). Los árboles derribados por la tormenta invernal fueron troceados en medidas comerciales (trozas de 2.5 m de longitud) y “cortas dimensiones” (1 m de longitud) y extraídos del sitio para su venta comercial. El arrastre de los troncos desde el sitio del derribo al punto de carga en camiones representó un impacto considerable en remoción de la vegetación arbustiva presente (Fig. 2). Posteriormente, se realizaron varias reforestaciones con planta de oyamel, con un bajo porcentaje de supervivencia (probablemente menor al 20%), lo cual en parte podría atribuirse a que, por el cambio climático, los meses de marzo-mayo son más mucho más secos y cálidos de lo habitual (Guzmán-Aguilar et al., 2020; Cruzado-Vargas et al., 2021).

Adicionalmente, el sitio parece tener poca capacidad de retención de humedad por su elevada pedregosidad. Aproximadamente 70% del área delimitada para este estudio presenta afloramiento de rocas, y en comparación con otros sitios de elevación similar, relativamente menos arbustos establecidos posterior al impacto de la tormenta invernal.



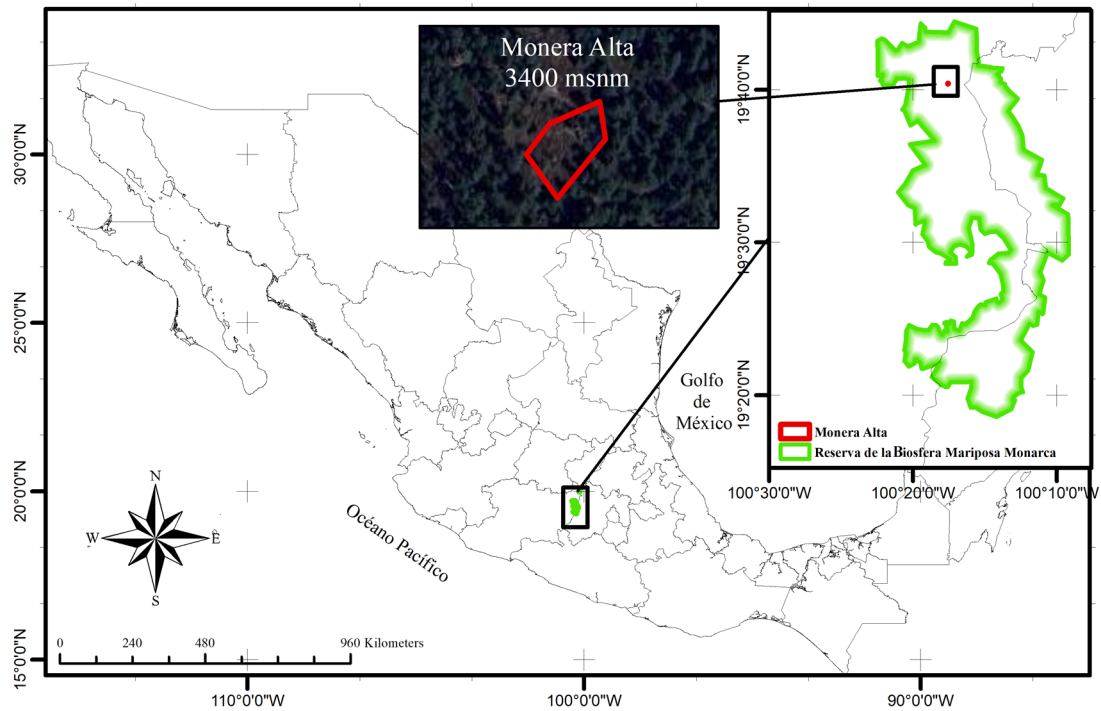


Figura 1: Localización del paraje Monera Alta, en el Ejido Cerro Prieto dentro de la Sierra Chincua, Zona Núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, municipio Angangueo, Michoacán, México. Mapa realizado por G. E. Manzanilla-Quijada y L. E. Baltazar Cruz.



Figura 2: Estado de perturbación del sitio Monera Alta previo al establecimiento de los arbustos: A. árboles muertos y dañados por la tormenta invernal; B. estado del predio una vez que se hizo la corta, derribo y transporte de la madera. Fotografías de Cuauhtémoc Sáenz-Romero.

Producción de plántula en vivero

En el presente experimento se utilizaron dos especies de plantas nativas de la RBMM. La primera de ellas es *Baccharis conferta*, cuyo nombre común en la zona es “escoba” o “escobilla” (Rzedowski et al., 2001; Gutiérrez-Román et al., 2022). Esta es un arbusto que crece hasta 3 m de altura, se distribuye de 1000 a 3000 m s.n.m., y su presencia predomina en etapas sucesionales tempranas de bosques de encino, pino y oyamel, por lo que se le considera como pionera (Rzedowski, 2006; Sánchez-Velázquez et al., 2011). La segunda especie es *Ageratina glabrata* (sinonimia *Eupatorium glabratum* Kunth) o “palomilla”. Es una planta herbácea perenne que llega a tener porte arbustivo alcanzando 1.5 a 2 m de altura. Es una planta sucesional temprana o colonizadora; cuando hay desmontes, es de las primeras especies en establecerse.

Se puede encontrar en los bosques de pino-encino por arriba de 2000 m. s.n.m. (Rzedowski, 2006; García et al., 2011) (Fig. 3).

Las plantas utilizadas en este experimento fueron producidas en noviembre de 2020, a partir de la clonación de individuos por medio de esquejes en el caso de *B. conferta* y por germinación de semilla en el caso de *A. glabrata*. Posterior a la producción de esquejes y germinación de semillas, las plántulas se mantuvieron en un vivero forestal experimental de la ciudad de Morelia, Michoacán (1989 m s.n.m.). Los envases utilizados para la producción de arbustos nodriza en vivero tienen una capacidad de 380 cm³, sus medidas son 20.5 cm de largo, 5.5 cm de diámetro superior y 4 cm de diámetro inferior. Los envases fueron llenados con dos sustratos, uno comercial de la marca Vigoro y el segundo consistió en una mezcla especial elaborada en



Figura 3: Especies de arbustos establecidos en el Ejido Cerro Prieto, municipio Angangueo, Michoacán, México, en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca. A. *Ageratina glabrata* (Kunth) R.M.King & H.Rob; B. *Baccharis conferta* Kunth. Fotografías de Ana Gabriela Zacarías.

el vivero con “polvilla” (tierra rica en limo que usualmente se usa en jardinería urbana) (60%), agrolita (15%), vermiculita (15%), peat moss (10%), y un fertilizante comercial conocido como osmocote (1 l por cada metro cúbico de mezcla).

En total se obtuvieron 720 individuos de 8 a 13 meses de edad (sumando ambas especies), de los cuales la mitad de ellos se consideraron como planta chica (3.7 cm de altura en promedio) y la otra mitad, como planta grande (8.3 cm promedio). Las diferencias en el tamaño de planta se deben a la implementación de los sustratos usados durante la producción de planta en vivero, independientemente del método de propagación. Es decir, en términos generales, las plantas de tamaño pequeño provienen de la producción de planta en vivero usando un sustrato comercial (Vigoro) y las de tamaño grande, de la mezcla elaborada en el vivero (datos no publicados, manuscrito en preparación).

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en campo fue de bloques completos al azar. Los bloques fueron dispuestos de manera discontinua por las dificultades que representan los afloramientos de roca en el sitio de ensayo. Se establecieron 30 bloques de 6 m² c/u (2 × 3 m). Sin embargo, para los análisis se consideraron solo 26 bloques, ya que en cuatro de ellos se perdió la totalidad de las plantas como consecuencia de daños asociados a una corta fitosanitaria realizada en la vecindad del sitio de estudio. Cada bloque estuvo conformado por seis parcelas de 1 m².

Cada parcela contenía uno de tres tratamientos principales: (a) especie (*B. conferta* o *A. glabrata*), (b) condición de la plantación (especies plantadas separadas o juntas), y (c) talla inicial de la planta (grande o chica). La combinación de tales tratamientos principales resultó en seis tratamientos: (1) *B. conferta* de talla grande (7.4 cm de altura de planta en promedio), (2) *B. conferta* de talla chica (4.3 cm), (3) *A. glabrata* de talla grande (9.2 cm), (4) *A. glabrata* de talla chica (3 cm), (5) *B. conferta* junto a *A. glabrata*, ambas de talla grande, y (6) *B. conferta* junto a *A. glabrata*, ambas de talla chica. Los tratamientos principales (especie, condición de plantación y talla inicial) pueden considerarse

como “factores”, y el tratamiento particular que lo expresa (*B. conferta* o bien *A. glabrata*, por ejemplo), como “niveles” del factor.

Cada parcela tenía cuatro plantas (del mismo tratamiento) dispuestas en un cuadrado, a un espaciamiento de 50 × 50 cm, estando delimitada la parcela a un tamaño de 1 × 1 m. La distancia de plantación fue la misma tanto en parcelas monoespecíficas como en las mixtas. Para la plantación se realizó una cepa de un tamaño cercano al del cepellón (cepas aproximadamente de 10 cm de circunferencia, y 20 cm de profundidad).

El experimento se evaluó de julio 2021 a noviembre de 2023. La altura y la supervivencia de la planta fueron variables registradas. La supervivencia se registró como viva (1) o como muerta o ausente (0), mientras que la altura se midió desde el cuello de la planta o punto de unión hasta la yema apical líder de cada planta. La primera medición, que permitió obtener una medida de referencia inicial de altura de planta, se llevó a cabo en diciembre del 2021 y posteriormente se realizó un monitoreo bimestral durante un periodo de dos años y cuatro meses a partir de la plantación en campo. Durante ese tiempo, no se realizó ningún tipo de fertilización o riego. El establecimiento y crecimiento natural de hierbas y arbustos ajenos al experimento se permitieron dentro de los bloques del experimento. Excepto en pocos casos, se removieron las herbáceas que obstruían la medición de las plantas en los tratamientos designados.

Análisis estadísticos

Para evaluar si existen diferencias en la supervivencia e incremento de altura debido a la especie, la condición (parcelas con una especie o con ambas especies) y la talla inicial de las plántulas, se realizaron dos análisis de varianza, uno usando el procedimiento MIXED (Modelos mixtos) para incremento en altura de planta (altura final menos altura inicial) y uno más usando el procedimiento GLIMMIX para supervivencia, utilizando el programa SAS (SAS Institute, 2014). El modelo estadístico consideró como efectos fijos a: (i) la especie (*B. conferta* y *A. glabrata*), (ii) la condición (especies juntas o separadas), y (iii) la talla inicial (planta “grande” o “chica”), con sus respectivas



interacciones. El bloque se consideró efecto aleatorio. El modelo estadístico utilizado se muestra a continuación:

$$Y_{ijklm} = \mu + S_i + T_j + C_k + B_l + S_i * T_j + S_i * C_k + T_j * C_k + S_i * B_l + T_j * B_l + C_k * B_l + \epsilon_{ijklm}$$

Donde: μ =media general; S_i =efecto de la i -ésima especie; T_j =efecto de la j -ésima talla de planta; C_k =efecto de la k -ésima condición (plantada sola o en combinación con la otra especie); B_l =efecto del l -ésimo bloque; $S_i * T_j$ =interacción de especie con las tallas iniciales; $S_i * C_k$ =interacción de las especies con la condición de ser plantadas (ambas especies mezcladas o por separado); $T_j * C_k$ =interacción de las tallas iniciales con las diferentes condiciones de plantación (juntas o separadas); $S_i * B_l$ =interacción de las especies en los diferentes bloques; $T_j * B_l$ =interacción de las tallas con respecto al bloque; $C_k * B_l$ =interacción de las diferentes condiciones (juntas o separadas) con el bloque; ϵ_{ijklm} =termino de error. $i=1,2$; $j=1,2$; $k=1,2$; $l=(1,2...26)$; $m=1,2...4$.

Para conocer el tiempo que le llevará a los arbustos alcanzar una talla de 1 m de altura se llevó a cabo un análisis de regresión; después de haber realizado una exploración de modelos lineales, cuadráticos y no lineales,

se seleccionó el mejor modelo con base en el valor de R^2 y la significancia del ajuste del modelo, siendo el que se muestra a continuación:

$$Y_{ij} = \beta_0 + e^{\beta_1 x}$$

Donde: Y_{ij} = altura de la j -ésima plántula del i -ésimo tratamiento (especie y talla). β_0 =intercepto; β_1 = coeficiente de "x"; x =edad en días después de la plantación en campo.

Resultados

Supervivencia

A los dos años y cuatro meses del establecimiento, la supervivencia promedio de *B. conferta* fue de 49% y de 42% para *A. glabrata* (Fig. 4). Se determinaron diferencias estadísticamente significativas en la supervivencia en función de la talla inicial de las plantas ($P \leq 0.001$); las mayores tasas de supervivencia se registraron en los individuos de mayor talla en ambas especies (Fig. 5) ($P=0.011$, Cuadro 1). La figura 4 muestra que la mayor proporción de la mortalidad ocurrió posterior a la plantación, particularmente durante el período de sequía comprendido entre noviembre 2021 y mayo 2022.

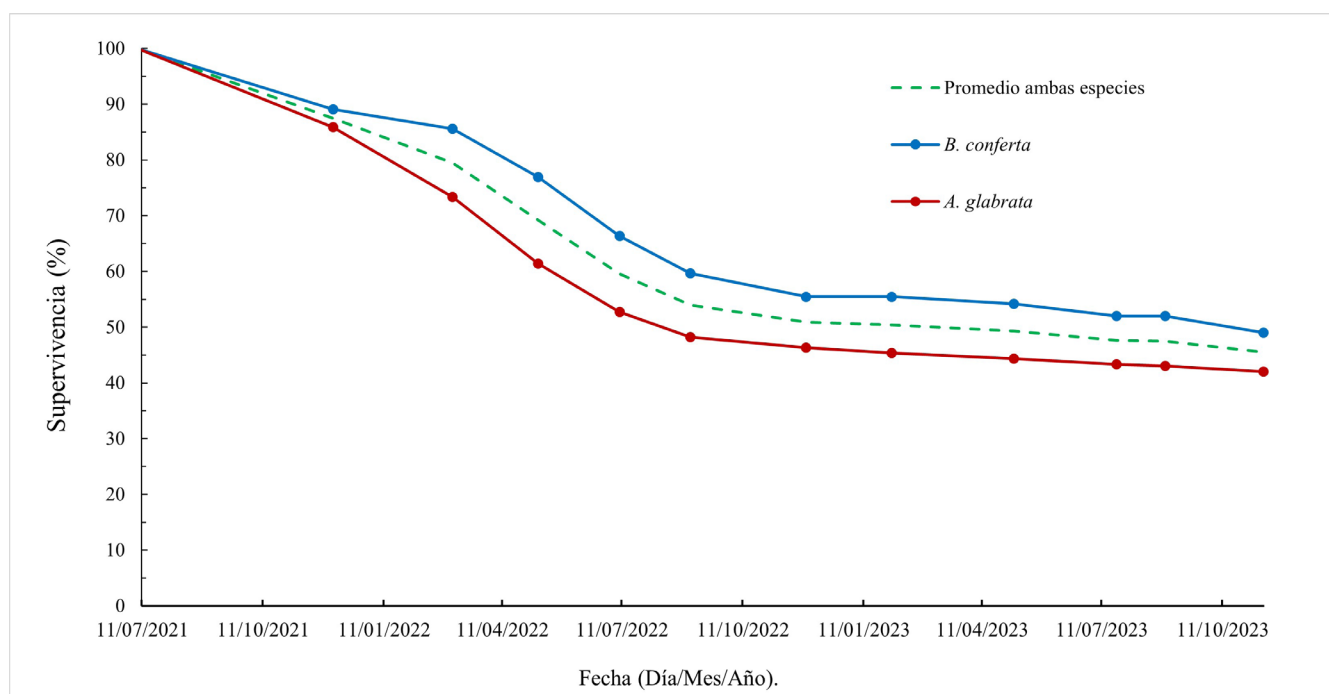


Figura 4: Curvas de supervivencia promedio de *Ageratina glabrata* (Kunth) R.M.King & H.Rob y *Baccharis conferta* Kunth, durante el periodo de julio 2021 a noviembre 2023 en el Ejido Cerro Prieto, municipio Angangueo, Michoacán, México, en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca.



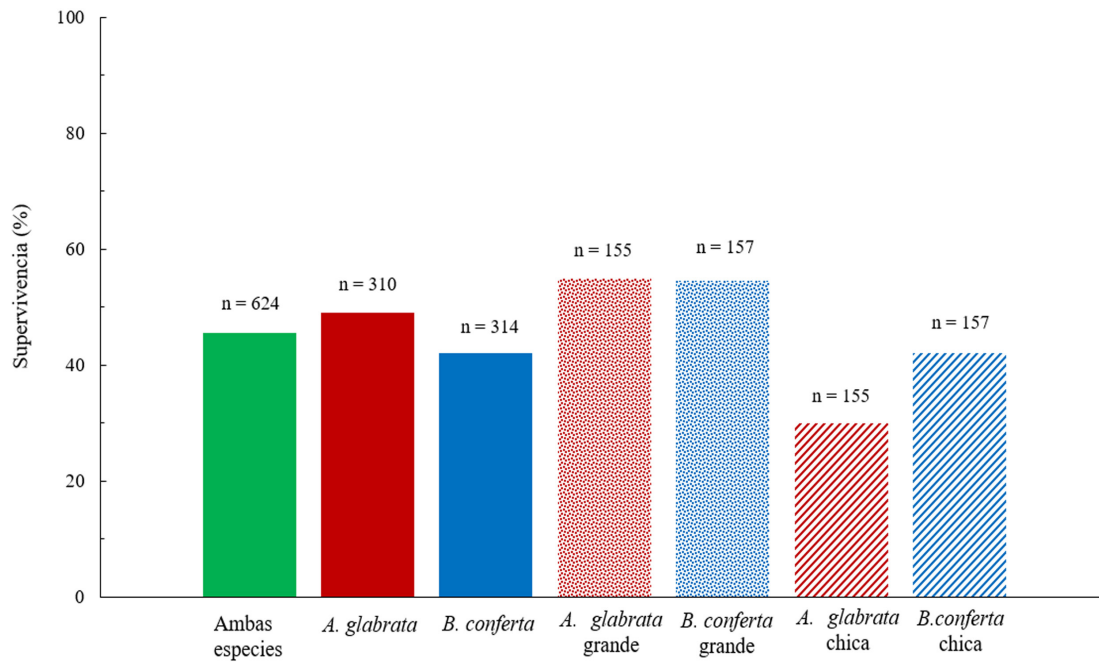


Figura 5: Porcentaje de supervivencia de las plántulas de *Ageratina glabrata* (Kunth) R.M.King & H.Rob y *Baccharis conferta* Kunth, considerando el promedio de ambas especies (barra verde), el promedio por especie sin considerar el tamaño inicial de planta (barras roja y azul relleno solido) y el promedio por especie considerando el tamaño inicial de planta (barras roja y azul relleno de puntos y diagonales) establecida en el Ejido Cerro Prieto, municipio Angangueo, Michoacán, México, en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca. Los valores ubicados arriba de cada una de las barras representan el número inicial de plantas establecidas en este experimento.

Cuadro 1: Resultados del análisis de varianza para la supervivencia e incremento en altura de *Baccharis conferta* Kunth y *Ageratina glabrata* (Kunth) R.M.King & H.Rob, en el Ejido Cerro Prieto, municipio Angangueo, Michoacán, México, en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca. Los valores en negritas indican los valores de $P < 0.05$.

Fuente de variación	Grados de libertad	Supervivencia		Incremento en altura	
		F	P	F	P
Efectos fijos					
Especie	1	0.45	0.5097	6.26	0.0196
Talla	1	13.62	0.0011	4.58	0.0427
Condición	1	1.11	0.3017	0	0.9585
Especie × talla	1	6.58	0.0106	0.42	0.5197
Especie × condición	1	2.8	0.0951	0.64	0.4263
Talla × condición	1	0.78	0.3761	0.08	0.7718
Efectos aleatorios					
Bloque	25	0	1	8.0862	0.3007
Especie × Bloque	25	0.4612	0.0053	24.133	0.055
Talla × Bloque	25	0.0078	0.4679	0.4804	0.4762
Condición × Bloque	25	0	1	5.5819	0.2536



Incremento en altura

Los arbustos de *A. glabrata* tuvieron un incremento general (plantas chicas y grandes) de 36.2 cm, mientras que los de *B. conferta* 31.3 cm (Fig.6). Por otro lado, las plántulas de *A. glabrata* de talla chica tuvieron un incremento de altura

promedio de 31.7 (Intervalo de confianza al 95%: ± 4.7) cm y los de talla grande 37.5 (IC ± 3.06) cm; en el caso de *B. conferta* de talla chica 29.6 (IC ± 2.3) cm y 35.6 (IC ± 2.7) cm para los de talla grande (Fig.7). La talla inicial (P=0.043) y la especie (P=0.019) influyeron de manera significativa sobre

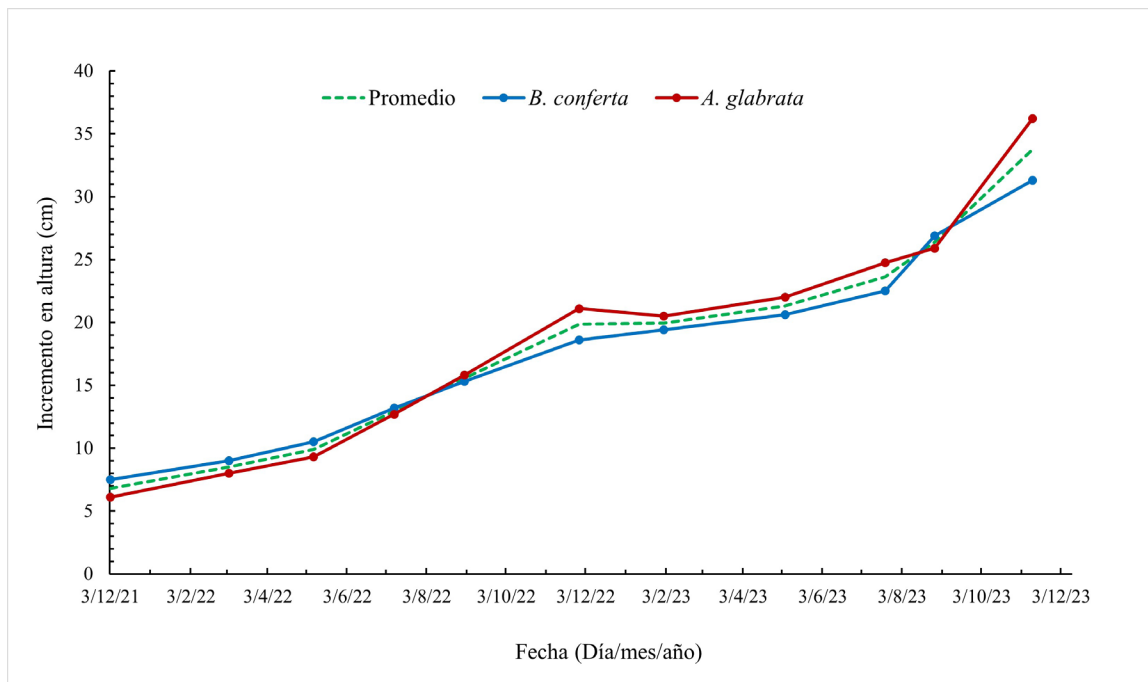


Figura 6: Incremento en altura (cm) para *Ageratina glabrata* (Kunth) R.M.King & H.Rob, *Baccharis conferta* Kunth y el promedio de ambas especies (línea verde punteada) registrado el Ejido Cerro Prieto, municipio Angangueo, Michoacán, México, en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca.

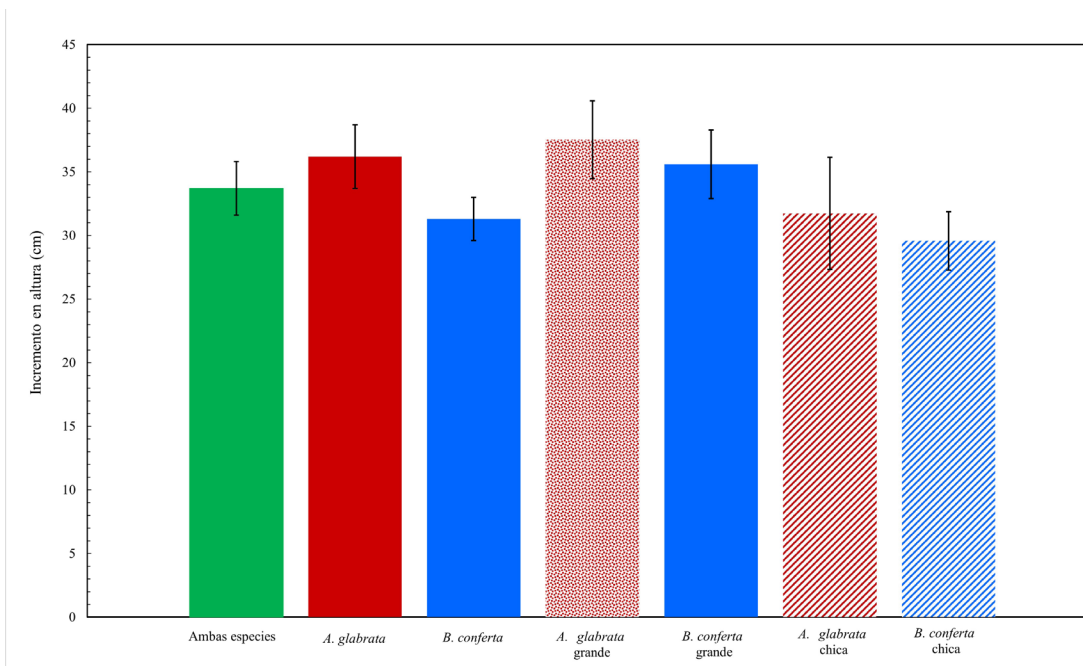


Figura 7: Incremento en altura dependiente de la especie y tamaño inicial para ambas especies en el Ejido Cerro Prieto, municipio Angangueo, Michoacán, México, en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca. Se indican los Intervalos de Confianza al 95%.



el incremento en altura en ambas especies (Cuadro 1). No se encontraron indicios de que hubiera interacción entre la talla y la especie ($P=0.519$) o la talla y la condición ($P=0.772$; Cuadro 1).

El análisis de regresión relaciona la altura de la planta con la edad en campo (Fig. 8) e indica que las plantas de tamaño grande en *B. conferta* requerirán de 4.6 años a partir de la fecha de plantación en campo para alcanzar 1 m de altura, ($R^2=0.49$, $p\leq 0.001$), mientras que las plantas de talla chica alcanzarían dicha altura en 4.3 años ($R^2=0.76$, $p\leq 0.001$). En el caso de *A. glabrata* se estimó un periodo de 4.1 años para las plantas de talla grande ($R^2=0.62$, $p\leq 0.001$;) y de 3.8 años para las plantas de talla chica ($R^2=0.57$, $p\leq 0.001$) (Fig. 8). Lo anterior significa que a las plantas de tamaño chico le llevará en promedio tres meses (~ 100 días) menos (*A. glabrata* 3.8 y *B. conferta* 4.3 años), con respecto a las plantas de tamaño grande (*A. glabrata* 4.1 y *B. conferta* 4.6 años) para alcanzar 1 m de altura.

Discusión

Supervivencia

La presencia de arbustos nodriza como *B. conferta* es de gran importancia para proteger plántulas de *Abies religiosa* en las reforestaciones con fines de restauración ecológica, demostrando una gran diferencia con 94% de supervivencia bajo la sombra de arbustos y 10% fuera de su sombra (Carbajal-Navarro et al., 2019). Sin embargo, es frecuente que un sitio a reforestar no tenga arbustos que puedan servir como plantas nodrizas locales debido a elevados niveles de perturbación, o a la práctica de retirar las plantas del estrato herbáceo y arbustivo previo a la plantación del oyamel (observación personal). Tomando en cuenta el grado de perturbación y la afloración de rocas del sitio en donde se estableció el ensayo, se considera que la supervivencia obtenida después de 28 meses de plantación (49% para *B. conferta* y de 42% para *A. glabrata*) es aceptable. Estos resultados son alentadores si los comparamos con

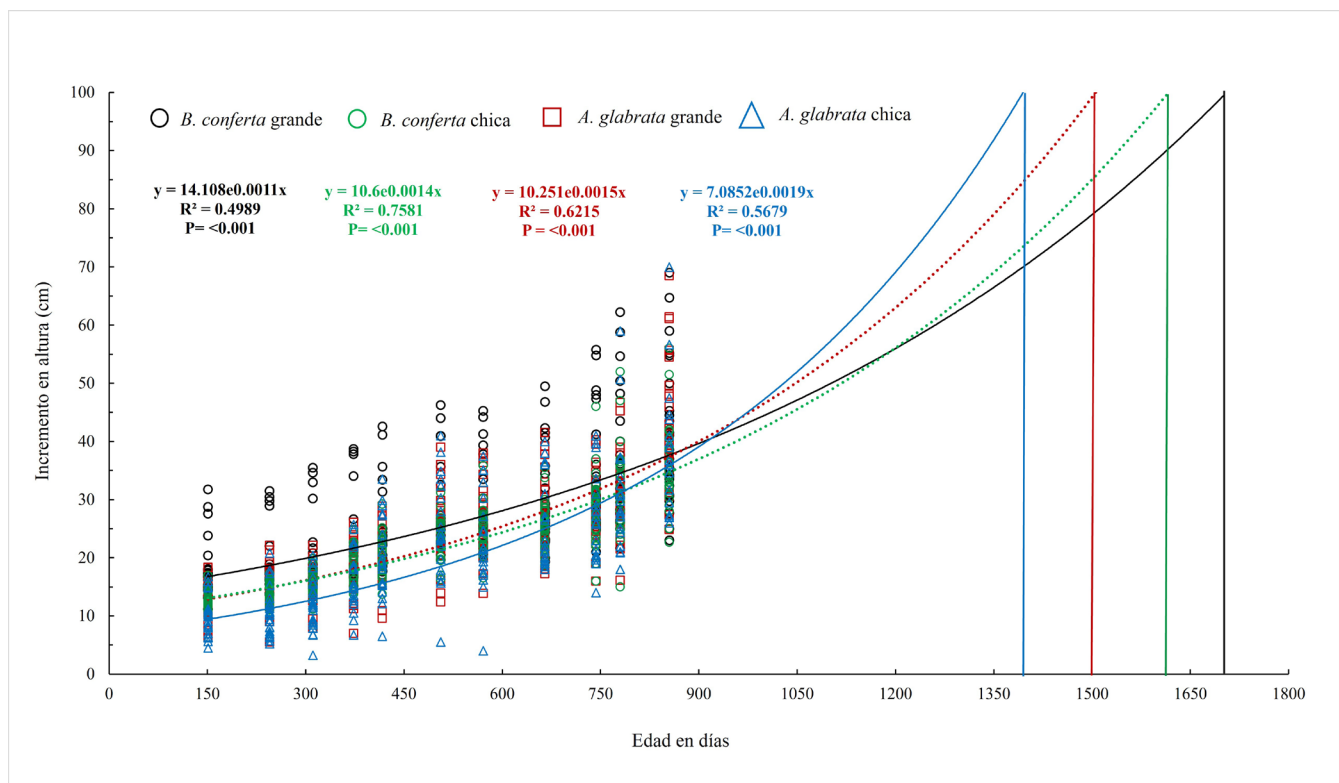


Figura 8: Regresión para la estimación del tiempo que debe transcurrir para que *Ageratina glabrata* (Kunth) R.M.King & H.Rob y *Baccharis conferta* Kunth alcancen la altura de 1 m considerando el tamaño inicial de planta. Las líneas punteadas verticales indican cuando han alcanzado 1 m de altura: 1392 días \approx 4 años; 1700 \approx 4.5 años. Los símbolos son el promedio por combinación de tratamiento (especie y talla inicial de plántula) por bloque.



los reportados por Hernández-Pineda et al. (2014), donde *Baccharis macrantha* Kunth obtuvo una supervivencia de 31.5% al finalizar el seguimiento de un periodo de un año y cuatro meses.

Es extremadamente importante valorar los resultados en un contexto más general y realista, en donde las cifras confiables de sobrevivencia de reforestaciones de restauración ecológica son extremadamente difíciles de obtener en México. Entre las evaluaciones que consideramos confiables se encuentran las siguientes: 34% de sobrevivencia para el primer año posterior a la plantación, a nivel nacional (Sheinbaum y Masera, 2000), y 38% para el estado de Michoacán (también a un año posterior a la plantación; SEMARNAP, 2000; Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros, 2004).

Respecto a qué se puede esperar de sobrevivencia en años posteriores a la evaluación aquí presentada, se considera que la tendencia de las curvas de supervivencia de *B. conferta* y *A. glabrata* indica una importante desaceleración de la mortalidad a partir del segundo año posterior a la plantación, por lo que la mortalidad que se pudiera añadir desde la última evaluación presentada, hasta el momento de la plantación del oyamel, probablemente sería de 5 a 10% de mortalidad adicional, con base en la tendencia reportada entre julio de 2022 y noviembre de 2023 (Fig. 2). Aunque se observó que ambas especies tienen una capacidad de supervivencia similar, se recomienda el uso de *B. conferta*, ya que tiene una copa más densa y perenne que la de *A. glabrata*.

Incremento en altura

Los datos obtenidos en campo indican que las plantas de talla inicial grande incrementaron en promedio 6 cm más su altura que las de talla chica, al final del experimento. Por lo que es factible establecer un dosel de arbustos a partir de planta chica, ahorrando tiempo de desarrollo, cuidados y costos en vivero para producir planta grande.

Si bien no hubo diferencias significativas en incremento de altura o supervivencia, debido al hecho de plantar los arbustos en parcelas con una sola especie o parcelas con ambas especies, en un futuro será importante tomarlo en consideración. Lo anterior en el sentido de que a edades posteriores poder detectar si existe competencia entre los

arbustos de la misma especie o entre especies distintas. Por ello, consideramos que es necesario continuar con el monitoreo para determinar el efecto de plantar las especies de forma separada o mezclada. De haber una competencia importante entre las dos especies, podría considerarse en futuros ensayos un espaciamiento mayor; por ejemplo, plantar a 1 m × 1 m de distancia.

Otro aspecto crítico por evaluar, también relacionado al espaciamiento de los arbustos, sería el desempeño de las plántulas de oyamel que se planten bajo las nodrizas. En ese contexto, conforme el tiempo de plantación continúe avanzando, otro factor a considerar es la estructura de las copas de los arbustos. En el caso de *B. conferta*, al ser un arbusto perenne con copas redondeadas, proporciona una sombra permanente a lo largo del año (Wilson et al., 2021), mientras que *A. glabrata* posee una copa menos compacta que pierde gran parte de su follaje en los meses más fríos (diciembre a febrero), y en la temporada seca y cálida del año (marzo a mayo; observación personal).

Como recomendación general, los arbustos requieren plantarse con cinco años de anticipación al oyamel, en sitios que carecen de arbustos y que puedan servir como plantas nodriza. Esos sitios típicamente pueden ser sitios en donde se llevaron a cabo aprovechamientos forestales y/o cortas fitosanitarias. En estos, cuando se arrastran las trozas de los fustes, queda el suelo prácticamente desnudo. De no haber intervención, es de esperar cierto reclutamiento natural de arbustos y plántulas de oyamel; sin embargo, tal proceso es sumamente lento. Por ejemplo, en bosques de *Abies guatemaltensis* Rehder, se ha observado una regeneración del oyamel muy lenta, que se inicia en el borde de los rodales conservados, y avanza muy lentamente hacia el centro de los claros (Martínez-Arévalo, 2014). Entonces, la propuesta de producir en vivero y plantar nodriza es una medida de manejo para acelerar el proceso de restauración ecológica, facilitando el establecimiento de plántulas de oyamel de manera mucho más temprana que lo que sucedería de manera natural.

Para lograr lo anterior, es importante involucrar a los dueños y poseedores (Ejididos y Comunidades) en el proceso de restauración y conservación de los terrenos a reforestar, alentando un cambio de usos y costumbres



muy arraigado, para dar cabida a nuevas prácticas que permitan cierto grado de adaptación al cambio climático. Esto requiere de generación de nuevas capacidades técnicas entre los actores locales, mediante cursos y talleres de capacitación. También se requiere ampliar el financiamiento de los programas de reforestación, que actualmente típicamente culminan con la plantación en el sitio a reforestar, para incluir acciones de mantenimiento (del cercado, por ejemplo) y de monitoreo a largo plazo, para tener una valoración objetiva de en qué grado se logró una restauración ecológica, más allá de reportar solamente el número de plantas y hectáreas reforestadas (Sáenz-Romero et al., 2003; Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros, 2004).

Costos y beneficios del uso de arbustos nodriza

Estudios previos han encontrado que *B. conferta* promueve el crecimiento de plántulas de *A. religiosa*, reduciendo costos para plantaciones comerciales o destinadas a la restauración (Sánchez-Velásquez et al., 2011). El incremento de los costos de los programas de reforestación cuando se incluye la producción en vivero de planta nodriza y su plantación en campo, debe valorarse respecto a las consecuencias de no hacerlo. La regeneración natural no asistida, que consiste en eliminar los agentes de disturbio como tala ilegal y pastoreo, para esperar a que suceda el reclutamiento natural de las especies parece no ser la mejor opción para las plántulas de oyamel. Lo anterior, se debe a que existe una alta mortalidad durante la estación cálida y seca del año que puede abarcar los meses de marzo, abril y mayo, en sitios perturbados dentro de la Zona Núcleo de la RBMM (Guzmán-Aguilar et al., 2020).

En el caso particular del predio “Monera Alta” el agente de disturbio principal fue el derribo y arrastre de los troncos de los árboles muertos a consecuencia de la tormenta invernal de 2016 (Brower et al., 2017). La regeneración natural no asistida de este sitio para recuperar el estrato arbóreo llevaría muchos años, es por eso que el uso de los arbustos para llevar a cabo la restauración ecológica previo a la plantación del oyamel es una alternativa que ofrece reducir ampliamente la mortalidad de las plántulas posterior a la reforestación.

Debido a que para efectos de plantación en campo es indispensable plantar al inicio de la temporada de lluvias, cuando estas ya se encuentran bien establecidas (típicamente en julio; Burney et al., 2015), el tiempo que le llevará a los arbustos alcanzar 1 m de altura a partir de la fecha de plantación es de un poco más de cuatro años para *A. glabrata* y cinco años para *B. conferta*, independientemente del tamaño inicial de las plántulas. Esta estimación sugiere que se requiere de una planeación a largo plazo y, evidentemente, una mayor inversión económica que cubra el costo de la producción de planta nodriza en vivero y su plantación, y que no solamente contemple la producción en vivero y plantación en campo de planta de oyamel.

Si bien la producción de planta nodriza en vivero y el tiempo de espera (entre la plantación del arbusto y la del oyamel bajo el arbusto) incrementarían el costo final estimado por planta de oyamel, es importante valorarlo desde la perspectiva de la sobrevivencia: es mejor tener una plántula viva de oyamel que cueste alrededor de \$20 pesos mexicanos (\$10 del oyamel y \$10 del arbusto nodriza), que tener cuatro plantas muertas de oyamel a un costo unitario de \$10 cada una. Llevando este razonamiento a datos de campo y basándonos en los resultados de 94% de supervivencia bajo arbustos que dieron a conocer Carbajal-Navarro et al. (2019), se tiene que 94 plántulas de oyamel vivas bajo arbustos a \$20 pesos c/u habrían costado \$2,000 pesos, teniendo la sobrevivencia reportada de 94% de 100 plantadas. Ahora bien, para tener esa cantidad de plantas vivas y plantadas sin la protección de arbustos nodriza (que tuvieron una sobrevivencia de 10%), habría que haber producido 940 plantas a \$10 pesos c/u, con un costo de \$9,400 pesos. Visto así, en el primer caso, bajo arbustos, el precio unitario de planta final viva de oyamel es de \$21.3 pesos, mientras que sin la protección de arbustos sería de \$100 pesos c/u. La estimación de \$10 pesos por planta de oyamel proviene de entrevistas en 2022 a viveristas de la RBMM, y el costo de \$10 pesos por planta de arbusto, de Baltazar-Cruz y Pérez-Cruz (com. pers.).

Limitaciones de este trabajo y perspectivas

En futuros ensayos de campo sería recomendable caracterizar con detalle la vegetación arbustiva y herbácea



preexistente, y monitorear su desarrollo. Esto, tanto en parcelas en donde se hayan plantado arbustos como plantas nodriza (como en el presente trabajo), como en parcelas en donde no hubo tal intervención (parcelas “testigo”): estas últimas no se establecieron en este trabajo, pero sí en otros previos (Carbajal-Navarro et al., 2019).

Lo anterior permitiría valorar con mayor detalle el costo-beneficio de la plantación de arbustos como nodrizas, en comparación a no hacerlo. Esta valoración es relevante en el contexto de que la plantación de nodrizas en realidad es un enriquecimiento del estrato arbustivo, ya que especies arbustivas se establecen de manera natural en el proceso de sucesión ecológica. Por tanto, el beneficio de la plantación activa de nodrizas en realidad consiste en acelerar tal proceso, magnificando su papel de facilitadores para el establecimiento de las plántulas de *Abies religiosa*.

El tamaño mínimo deseable de los arbustos de al menos 1 m de altura, en gran medida, fue una decisión operacional basada en nuestra observación de campo del experimento de Carbajal-Navarro et al. (2019). Sin embargo, un mayor sustento requeriría tanto de: (a) una evaluación detallada que pudiera vincular el tamaño de la copa de los arbustos con la supervivencia y crecimiento de las plántulas de oyamel bajo ellas, y (b) idealmente, realizar un experimento expofeso en donde se ensayaran como tratamientos, diversas distancias de las plántulas de oyamel plantadas respecto al tallo principal de los arbustos usados como nodriza; esto con la finalidad de encontrar el grado de sombra óptima en su papel de facilitadora para la supervivencia y crecimiento del oyamel.

Por el momento, consideramos que la sombra cenital completa proporcionada por las plantas nodrizas beneficia más la supervivencia de las plántulas de oyamel que una sombra parcial y lateral. Esta conclusión se sustenta en la mayor supervivencia registrada en el sitio Los Ailes donde el oyamel fue plantado bajo cobertura plena de arbustos preexistentes, en contraste con el sitio Las Palomas, donde el arreglo en cuadrícula regular (1.5 × 1.5 m) generó condiciones de sombra lateral parcial y se asoció con menores tasas de supervivencia (véanse figuras 2 y 3 en Carbajal-Navarro et al., 2019). Es decir, es recomendable estimar con mayor precisión la cobertura del follaje de los arbustos

plantados e, idealmente, qué proporción representan respecto a la cobertura de aquellos que se establecen de manera natural.

Conclusiones

Con base en nuestros resultados, es factible establecer un dosel de arbustos a partir de planta chica (3 y 4.3 cm de altura promedio), ya que los datos demostraron que las plantas de talla grande tuvieron en promedio solo seis cm más que las de talla chica. Por lo anterior, no parece ser indispensable mantener en vivero la planta un tiempo mayor para que alcance una talla más grande previo a la plantación en campo. Esto último implicaría costos adicionales que no necesariamente representan un desempeño substancialmente mejor en campo. Para que los arbustos establecidos en campo funcionen como nodrizas, es necesario plantarlos al menos cinco años previos a la plantación del oyamel, tiempo que hemos estimado necesario para que los arbustos alcancen una talla de 1 m de altura.

Contribución de autores

Conceptualización: CSR, ABG y LLT; Metodología: LAPC, LEBC, CSR, ABGG, LLT. Investigación: LAPC, LEBC, CSR, ABGG, AGZC, MGJJ, VOV; Análisis de datos: LAPC, AZC, CSR, LAPC, AGZC; Redacción — borrador original: LAPZ, AGZC, CSR, LEBC, VOV, MGJJ, ABG, LLT; Redacción — revisión y edición: AGZC, CSR, LAPC, LEBC, VOV, MGJJ, ABG, LLT.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado por Monarch Butterfly Found (Madison, Wisconsin, USA), American Forests (Washington, D.C., USA), el Fondo de Conservación del Eje Neovolcánico, A.C., la Comisión Forestal de América del Norte (a través del USDA-Forest Service) y la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH, Morelia, México).

Agradecimientos

A la directora de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, Rosalía Domínguez Vieyra, a los directores anteriores Amado Fernández Islas y Felipe Martínez Meza, por permitirnos



llevar a cabo nuestro trabajo dentro de la Reserva. A Eligio García Serrano, director del Fondo de Conservación del Eje Neovolcánico, A.C., por el gran apoyo que nos brindó para facilitar la colaboración del Ejido Cerro Prieto. A los Comisarios Ejidales Carmen Martínez Colín (actual) y Luis Martínez García (previo), y otros ejidatarios (José Luis Martínez Hernández y Marvin Martínez Hernández) que han colaborado en la vigilancia, mantenimiento y evaluación de los ensayos. A los estudiantes y egresados de la Facultad de Biología de la UMSNH, José Martel Blanco García, Eder David Vieyra Valenzuela, Alexia R. García, Axel Humberto Cortez Pérez y Luis Gerardo Ruíz Martínez, y a Gyorgy Eduardo Manzanilla Quijada, que ayudaron en la evaluación del ensayo.

Declaración de disponibilidad de datos

El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio fue publicado en SciELO Data y puede ser accedido en: <https://doi.org/10.48331/SCIELODATA.RDOWCM>

Literatura citada

- Alvarado-Sosa, P., A. Blanco-García y R. Lindig-Cisneros. 2007. Test of alternative nursery propagation conditions for *Lupinus elegans* Kunth plants, and effects on field survival. *Revista Fitotecnica Mexicana* 30(2): 201-204.
- Blanco-García, A., C. Sáenz-Romero, C. Martorell, P. Alvarado-Sosa y R. Lindig-Cisneros. 2011. Nurse plant and mulching effects on tree conifer species in a Mexican temperate forest. *Ecological Engineering* 37(6): 994-998. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.01.012>
- Brower, L. P., E. H. Williams, P. Jaramillo-López, D. R. Kust, D. A. Slayback y M. I. Ramírez. 2017. Butterfly mortality and salvage logging from the March 2016 storm in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico. *American Entomology* 63(3): 151-164. DOI: <https://doi.org/10.1093/ae/tmx052>
- Burney, O., A. Aldrete, R. Álvarez Reyes, J. A. Prieto Ruíz, J. R. Sánchez Velazquez y J. G. Mexal. 2015. México — Addressing Challenges to Reforestation. *Journal of Forestry* 113(4): 404-413. DOI: <https://doi.org/10.5849/jof.14-007>
- Carbajal-Navarro, A., E. Navarro-Miranda, A. Blanco-García, A. L. Cruzado-Vargas, E. Gómez-Pineda, C. Zamora-Sánchez, F. Pineda-García, G. O'Neill, M. Gómez-Romero, R. Lindig-Cisneros, H. Johnsen Kurt, P. Lobit, L. Lopez-Toledo, Y. Herrerías-Diego y C. Sáenz-Romero. 2019. Ecological restoration of *Abies religiosa* forests using nurse plants and assisted migration in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7: 421. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00421>
- Cavieres, L. A., E. I. Badano, A. Sierra-Almeida, S. Gómez-González y M. A. Molina-Montenegro. 2006. Positive interactions between alpine plant species and the nurse cushion plant *Laretia acaulis* do not increase with elevation in the Andes of central Chile. *New Phytologist* 169(1): 59-69. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01573.x>
- CONABIO. 2021. Bosques templados. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosquetemplado> (consultado diciembre de 2023).
- CONANP. 2016. Informe UNESCO RB Mariposa Monarca 2016. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). <https://inefectividad.conanp.gob.mx/i-efectividad/CyEN/RB%20Mariposa%20Monarca/Atributos/INFORME%20UNESCO%20RB%20MARIPOSA%20MONARCA%202016.pdf> (consultado diciembre de 2023).
- Cruzado-Vargas, A. L., A. Blanco-García., R. Lindig-Cisneros, M. Gómez-Romero, L. Lopez-Toledo, E. de la Barrera y C. Sáenz-Romero. 2021. Reciprocal common garden altitudinal transplants reveal potential negative impacts of climate change on *Abies religiosa* populations in the monarch butterfly biosphere reserve overwintering sites. *Forests* 12(9): 1237. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12010069>
- Encina-Domínguez, J., F. Encina-Domínguez, E. Mata-Rocha y J. Valdés-Reyna. 2008. Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Botanical Sciences* 83: 13-24. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1785>
- García P., G., R. Del Río-T., R. Guzmán M., M. I. Martínez G. M. y T. R. F. Scior. 2011. Estudios preliminares sobre el efecto analgésico del extracto de hojas de *Ageratina glabrata* en dos modelos térmicos de dolor agudo. *Revista Mexicana Ciencias Farmacéuticas* 42(1): 45-51.
- Gómez-Pineda, E., W. M. Hammond, O. Trejo-Ramirez, M. Gil-Fernández, C. D. Allen, A. Blanco-García y C. Sáenz-Romero.



2022. Drought years promote bark beetle outbreaks in Mexican forests of *Abies religiosa* and *Pinus pseudostrobus*. *Forest Ecology and Management* 505(1): 119944. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119944>
- Gómez-Pineda, E., C. Sáenz-Romero, M. Á. Salinas-Melgoza y M. I. Ramírez. 2023. Drought occurrence and forest management: Interrelated drivers of sanitary logging in central México temperate forests. *Trees, Forests and People* 13: 100413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100413>
- Gutiérrez-Román, A. S., G. Trejo-Tapia, M. González-Cortazar, E. Jiménez-Ferrer, J. L. Trejo-Espino, A. Zamilpa, E. A. Ble-González, B. H. Camacho-Díaz y M. Herrera-Ruiz. 2022. Anti-arthritic and anti-inflammatory effects of *Baccharis conferta* Kunth in a kaolin/carrageenan-induced monoarthritis model. *Journal of Ethnopharmacology* 288: 114996. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.114996>
- Guzmán-Aguilar, G., A. Carbajal-Navarro, C. Sáenz-Romero, Y. Herrerías-Diego, L. López-Toledo y A. Blanco-García. 2020. *Abies religiosa* seedling limitations for passive restoration practices at the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8: 115. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00115>
- Hernández-Pineda, O., M. Roa-Casas y F. Cortés-Pérez. 2014. Crecimiento de *Baccharis macrantha* y *Viburnum triphyllum*, dos especies nativas útiles en restauración ecológica, plantadas en un pastizal andino (Boyacá, Colombia). *Biota Colombiana* 15(2): 27-38.
- López-García, J. 2007. Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006 – 2007). Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (WWF y FMCN). Agosto 2007. http://awsassets.panda.org/downloads/071126_eval_forestal_monarca06_07.pdf (consultado diciembre de 2023).
- López-Gómez, V., V. Arreola-Padilla y R. Pérez-Miranda. 2015. Daños por factores abióticos y bióticos en bosques de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.) de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(29): 56-73.
- Martínez-Arévalo, J. 2014. Sucesión vegetal en bordes de bosques de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) del occidente de Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(23): 64-77.
- Martínez-Arévalo, J. 2015. Características in situ y de propagación de seis especies arbustivas utilizadas como plantas nodrizas en la región occidental de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud* 2(2): 105-117.
- Martínez-Arévalo, J. 2016. Los bosques de *Abies guatemalensis* Rehder de San Marcos, Guatemala: una oportunidad para su restauración ecológica. *Ciencia, Tecnología y Salud* 3(1): 27-46.
- Martínez-Arévalo, J. 2018. Modelo de negocio de restauración productiva de *Abies guatemalensis* Rehder utilizando plantas nodrizas para su establecimiento. *Ciencia, Tecnología y Salud* 5(2): 182-188.
- Navarro-Cano, J. A., M. Goberna y M. Verdú. 2019. La facilitación entre plantas como herramienta de restauración de diversidad y funciones ecosistémicas. *Ecosistemas* 28(2): 20-31. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1747>
- Pérez-Miranda, R., M. E. Romero-Sánchez, A. González-Hernández, E. Pérez-Sosa y E. Flores-Ayala. 2018. Distribución de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. bajo escenarios de cambio climático en el Eje Neovolcánico, México. *Agro productividad* 10(8): 29-34.
- Ramírez-Contreras, A. y D. A. Rodríguez-Trejo. 2009. Plantas nodriza en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 43-48.
- RFCC. 2023. Research on Forest Climate Change: Predicted Effects of Global Warming on Forests and Plant Climate Relationships in Western North America and Mexico. <https://charcoal2.cnre.vt.edu/climate/> (consultado diciembre 2023).
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cd.Mx., México. Pp. 162-166. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf (consultado diciembre de 2023).
- Rzedowski, J., G. de Rzedowski y colaboradores. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, México. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf (consultado diciembre de 2023).
- Saavedra-Romero, L., D. Alvarado-Rosales, J. Vargas-Hernández y T. Hernández-Tejeda. 2003. Análisis de la precipitación



- pluvial en bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham., en el sur de la ciudad de México. *Agrociencia* 37(1): 57-64.
- Sáenz-Romero, C. y R. Lindig-Cisneros. 2004. Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* 37: 107-122.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, P. Duval, R. St-Amant, J. Beaulieu y B. A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102: 595-623. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9753-5>
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, P. Duval y R. A. Lindig-Cisneros. 2012. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management* 275: 98-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.004>
- Sáenz-Romero, C., A. E. Snively y R. Lindig-Cisneros. 2003. Conservation and Restoration of Pine Forest Genetic Resources in México. *Silvae Genetica* 52: 5-6.
- Sánchez-González, A., L. López-Mata y D. Granados-Sánchez. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Investigaciones geográficas* 56: 62-76.
- Sánchez-Velásquez, L., D. Domínguez-Hernández, M. Pineda-López y R. Lara-González. 2011. Does *Baccharis conferta* shrub act as a nurse plant to the *Abies religiosa* seedling? *The Open Forest Science Journal* 4: 67-70. DOI: <https://doi.org/10.2174/1874398601104010067>
- SAS Institute. 2014. SAS/STAT, Version 9.4 Computer Software. SAS Institute Inc. Cary, USA.
- SEMARNAP. 2000. Evaluación de las reforestaciones de 1999 en el Estado de Michoacán. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Subsecretaría de Recursos Naturales, Programa Nacional de Reforestación. 2000. Reporte interno. México, D.F., México. 18 pp.
- Sheinbaum, C. y O. Masera. 2000. Mitigating carbon emissions while advancing national development priorities: the case of Mexico. *Climatic Change* 47: 259-282. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005610923555>
- Wilson, F. G., Y. Oki y M. Barbosa. 2021. The ecological and applied potential of *Baccharis*. In: Wilson, F. G., Y. Oki y M. Barbosa (eds.). *Baccharis* from evolutionary to ecological aspects to social uses and medical applications. Springer Nature. Cham, Suiza. Pp. 3-21. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-83511-8_1

