

Evaluación de la supervivencia en sitios reforestados como indicador de la restauración del paisaje en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

Survival assessment in reforested sites as an indicator of the landscape restoration of the Flora and Fauna Protection Area Nevado de Toluca

Erika Rocío REYES GONZÁLEZ¹

Posgrado en Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Gustavo Enrique HERNÁNDEZ JARDINES

Consultor Independiente
México

Atzin Elihu CALVILLO ARRIOLA

Consultor de Tierra Nueva, S.C.
México

Resumen

Gran parte de los ecosistemas forestales del planeta han sufrido degradación principalmente por prácticas relacionadas con el cambio de uso de suelo para fines agropecuarios, incluida la tala ilegal. El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca no queda exenta de los efectos de la deforestación y la degradación del bosque templado. Instituciones de gobierno, academia y sociedad civil han emprendido acciones de restauración y recuperación en favor de esta área protegida. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de la evaluación de la supervivencia de 144 plantaciones realizadas por Reforestamos México, asociación civil sin fines lucrativos, durante los años 2011 a 2015. El índice de supervivencia propuesto por la Comisión Nacional

¹ Los autores queremos agradecer a Reforestamos México, A. C. por los fondos proporcionados para llevar a cabo el proyecto “Indicadores ambientales de eventos forestales” del cual se desprende este trabajo y por las facilidades otorgadas para evaluar los predios reforestados por las empresas con las que colaboran. A Jacobo Bautista Gómez y Carmen del Rocío Jiménez Cruz por su participación en el proyecto en la generación y análisis de datos y la cartografía.

Forestal (Conafor) para evaluar el éxito de las plantaciones estima la cantidad de árboles vivos y muertos para obtener el porcentaje de supervivencia de cada predio con base en el número de árboles plantados para las plantaciones de los años 2014 y 2015. Además, se midió el vigor de los árboles y se determinó la especie que presentó la mejor respuesta de crecimiento y desarrollo únicamente para las plantaciones de los años 2014 y 2015. Las mayores supervivencias se localizaron en los parajes Latas Viejas (82%), Cerro Prieto (79%) y San José de las Huertas (79%), municipio de Zinacantepec, Estado de México, mientras que la menor supervivencia (36%) fue localizada en el paraje Cerro Gordo, en el mismo municipio. *Pinus montezumae* fue la especie que logró la mayor supervivencia (73%), mientras que *Pinus hartwegii* obtuvo la menor (70%). Esto último puede estar asociado a las pendientes pronunciadas, los suelos compactados por anteriores usos de suelos, el crecimiento de herbáceas por un mal mantenimiento y la presencia de ganado, factores que limitaron la supervivencia de las plantas. Los resultados muestran que las especies seleccionadas fueron apropiadas para este fin; sin embargo, es necesario evitar monocultivos, así como aplicar prácticas de mantenimiento continuo para lograr una mayor supervivencia. Es importante recalcar que la suma de colaboraciones entre los diversos sectores de la sociedad, incluyendo los ejidatarios y comunidades, posibilitan una mejor ejecución, participación y respuesta para el manejo de cualquier ecosistema.

PALABRAS CLAVE: Índice de Supervivencia, Nevado de Toluca, Reforestación, Restauración, Paisaje Forestal

Abstract

Many of the world's forest ecosystems have suffered degradation, mainly because of practices related to changes in land-use for agriculture purposes, including illegal logging. The Flora and Fauna Protection Area Nevado de Toluca is not exempt from the effects of deforestation and degradation of the temperate forest. Government institutions, academy and civil society have undertaken restoration and recovery actions in favor of this protected area. This work aims to present the results of the survival evaluation of 144 plantations carried out by Reforestamos México, a non-profit civil society, during the years 2011 to 2015. The survival index proposed by the National Forestry Commission (Conafor) evaluates the success of the plantations. This index considers the survival percentage based on the number of planted trees. It measured their vigor, the species with the best growth, and their development response. The most significant survivals were in the places Latas Viejas (82%), Cerro Prieto (79%) and San José de las Huertas (79%), municipality of Zinacantepec, State of Mexico; while the highest mortality of trees (36% survival) was in Cerro Gordo in the same municipality. *Pinus montezumae* was the species with the highest survival (73%), while *Pinus hartwegii* obtained the lowest (70%). The former due to the steep slopes, compacted soils by

previous uses, herbaceous growth due to poor maintenance and the presence of livestock. The results show that the selected species were appropriate to forestation; however, it is necessary to avoid monocultures, as well as to provide continuous maintenance to achieve higher survival. It is important to emphasize that the sum of collaborations between the diverse sectors of the society, including *ejidos* and communities, allow a better execution, participation, and response for the management of any ecosystem.

KEYWORDS: survival index, Nevado de Toluca, reforestation, restoration, forest landscape

Introducción

En México es común que las áreas naturales de alta montaña se encuentren bajo estrés continuo debido a la extracción de los recursos naturales, entre los que destacan los maderables; aunado a lo anterior, las plagas y enfermedades se suman a la degradación del ecosistema (Regil García *et al.*, 2013). Asimismo, los procesos de deforestación se encuentran relacionados con la expansión de la frontera agrícola y pecuaria, así como por la demanda de terrenos para desarrollos urbanos y turísticos (Conafor, 2010).

A pesar de que la tasa de pérdida de vegetación en los ecosistemas forestales ha disminuido respecto a los años anteriores a 1993 (Rosete Vergés *et al.*, 2014), éstos siguen siendo los ecosistemas con las mayores perturbaciones, sobre todo aquellos compuestos por el género *Pinus*, específicamente por las especies *P. montezumae*, *P. engelmanni*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *P. cooperi*, *P. duranguensis* y *P. arizonica* por su mayor valor económico gracias a su aprovechamiento maderable (Granados Sánchez *et al.*, 2007). Esto se traduce en una mayor deforestación y la disminución de la densidad forestal (Regil García *et al.*, 2013).

Estas perturbaciones han dado paso a la degradación de extensas áreas que han quedado desprovistas completamente de vegetación y de la posibilidad de recuperarse de manera natural (Conafor, 2010). Por lo tanto, es necesario idear acciones y estrategias que ayuden a la conservación, protección y manejo sustentable de los recursos naturales, estableciendo acciones de restauración que ayuden a revertir o mitigar los impactos, principalmente de la deforestación, así como la degradación de los suelos, especies invasoras, etc., por mencionar algunos factores (Tobón *et al.*, 2016).

La restauración ecológica puede definirse como las acciones emprendidas con el objetivo de regresar a un ecosistema al estado previo antes de las perturbaciones producidas por la actividad humana. Sin embargo, el funcionamiento de un ecosistema es más complejo, por lo que la restauración ecológica no debe resumirse solamente en acciones específicas como plantar algunas especies o reintroducir animales, sino en implementar distintas prácticas que ayuden a la resiliencia del ecosistema (Sánchez, 2005) —es decir, a recuperarse o regresar a su estado original después de una perturbación natural o humana importante (Cuevas Reyes, 2010; Thompson, 2011)—.

Una de las acciones de la restauración ecológica es la reforestación que, de acuerdo con la Conafor (2010), se define como la planeación, operación, control y supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles. Conocer la evolución anual de las especies reforestadas por lo menos en los tres años posteriores a la plantación permite evaluar el éxito de dicha acción en conjunto con las condiciones de mantenimiento, atmosféricas e incluso sociales, que pueden influir para tal fin. La recuperación de un ecosistema después de haber realizado acciones de restauración es un proceso que lleva varios años, durante los cuales es recomendable evaluar las acciones emprendidas para su preservación mediante la generación de datos que se conviertan en indicadores que muestren el éxito o fracaso de las acciones realizadas para la restauración (Williams *et al.*, 2016).

Las Áreas Naturales Protegidas² juegan un papel importante en la conservación de los ecosistemas, pues permiten la adaptación de la biodiversidad y ayudan a hacer frente a los efectos del cambio climático, conservan la diversidad biológica y mantienen los servicios ambientales. Sin embargo, el cambio de uso de suelo, la sobreexplotación de los recursos naturales, la introducción de especies exóticas, entre otras amenazas, ponen en riesgo la efectividad de estas áreas de acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp, 2017).

En el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) se ha encontrado que la extracción de leña y madera ha ido en aumento debido a la demanda de las localidades rurales asentadas en el área. Sin embargo, estos volúmenes de extracción para autoconsumo no son comparables con las extracciones realizadas para fines comerciales o ilegales, para la elaboración de muebles, la construcción, lo cual supone una amenaza mayor para la conservación, principalmente para los bosques de oyamel seguidos por los bosques de pino, de aile y de encino (Endara Agramont *et al.*, 2012).

Las plagas e incendios forestales también han provocado la fragmentación de los ecosistemas del Nevado de Toluca, poniendo en riesgo a especies como *Pinus hartwegii*, endémico de México y Guatemala, el cual se encuentra en mal estado de conservación. Por lo tanto, esta área protegida requiere de acciones de restauración que ayuden a revertir la degradación del hábitat de ésta y otras especies enfocadas en las áreas más afectadas por la pérdida de cobertura forestal (Conanp, 2016a).

El objetivo de este trabajo es evaluar la supervivencia de 144 predios reforestados por la asociación civil Reforestamos México, A. C., en el APFFNT durante los años 2011 a 2015. Se compararon las sobrevivencias entre sitios, especies y años, y se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar si las diferencias fueron estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$). Se trata de reforestaciones realizadas por voluntarios de dife-

² De acuerdo con la Conanp (2016a), un Área Natural Protegida se define como una porción del territorio nacional, terrestre o acuático, que no ha sufrido perturbaciones significativas en su ambiente y que provee beneficios ecológicos y se encuentra sujeta a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo. Son consideradas instrumentos de conservación de los ecosistemas, con fronteras delimitadas, y ayudan a la adaptación al cambio climático (Conanp, 2016a)

rentes empresas, las cuales aportaron, además, los insumos económicos para llevar a cabo estas acciones; sin embargo, a pesar de que no fue un experimento controlado, es necesario evaluar la supervivencia entre otros indicadores que permitan conocer el éxito de las acciones de restauración.

Las acciones de restauración deben incluir al menos la evaluación de la diversidad (riqueza, abundancia de especies y grupos funcionales), la estructura de la vegetación y los procesos biológicos (Williams *et al.*, 2016). En este trabajo sólo se reporta la evaluación de la supervivencia (por ser un trabajo bastante amplio y por la cantidad de predios evaluados). Sin embargo, es importante mencionar que otros indicadores como la diversidad, la capacidad de infiltración del agua en el suelo, la erosión del suelo y el potencial de la reforestación para la captura de carbono en una edad adulta, también fueron medidos.

Métodos y sitio de estudio

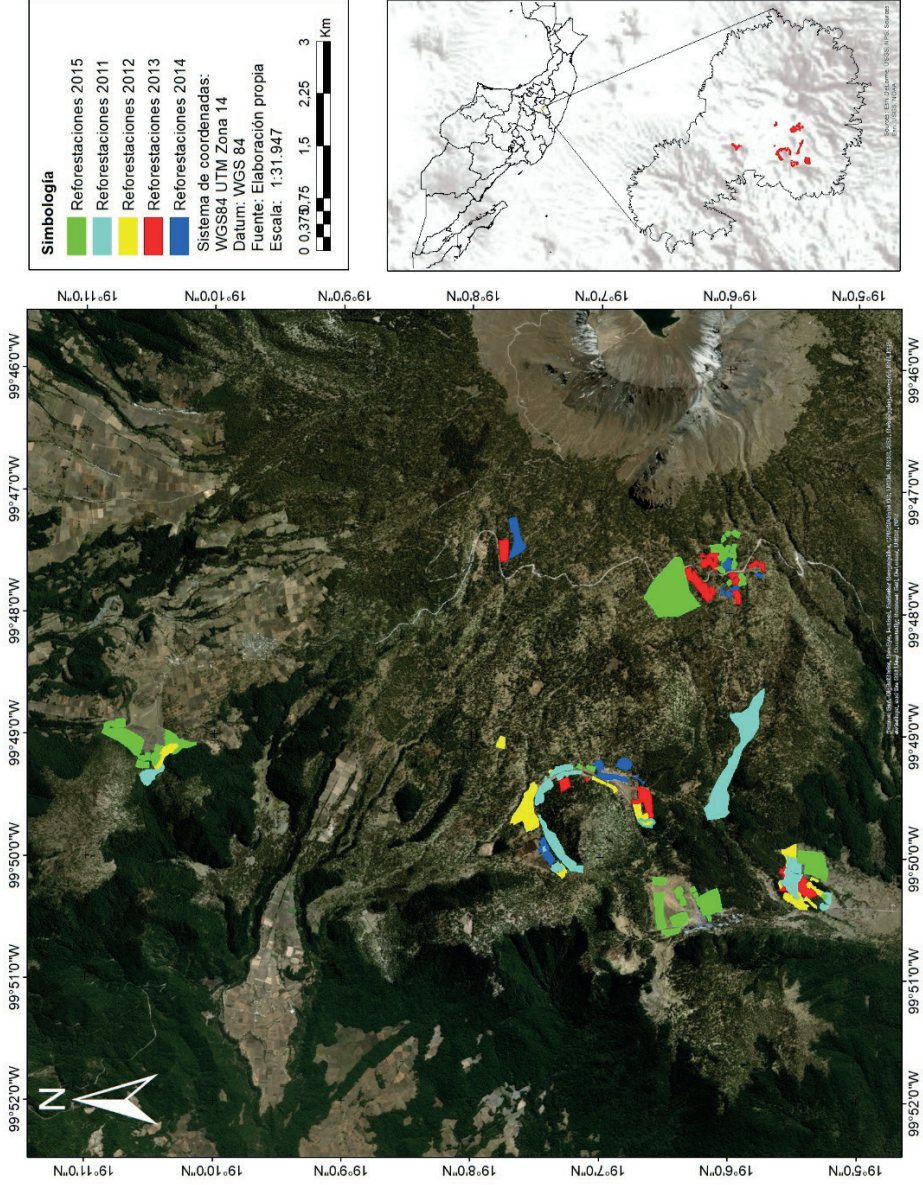
Durante los años 2011 a 2015 se llevaron a cabo 144 eventos de reforestación en los parajes Cerro Gordo, Cerro Prieto, Agua Blanca, Loma Alta, San José de las Huertas, Latas Viejas y La Loba, ubicados en el municipio de Zinacantepec, Estado de México, dentro del Área Natural Protegida denominada como Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (véase Figura 1). Con base en el contexto geográfico de la zona, los predios en restauración fueron sugeridos principalmente por la asamblea de comuneros del municipio de Zinacantepec tomando como criterio principal el fácil acceso para los voluntarios y como segundo criterio, no menos importante, la cobertura vegetal en proceso de degradación. Por ello, se procedió a hacer una caracterización física más profunda tomando en cuenta criterios físicos y biológicos externos, presentados en la Tabla 1.

Esta área protegida cuenta con una superficie estimada en 53,912 hectáreas y en ella habitan 24 comunidades. Tiene como coordenadas extremas 18°52' y 19°23' de latitud norte y 99°33' y 99°52' de longitud oeste con una altitud máxima de 4558 msnm. Abarca parte de los municipios de Toluca, Temascaltepec, Tenango del Valle, Almoloya de Juárez, Amanalco, Calimaya, Coatepec Harinas, Villa Guerrero, Villa Victoria y Zinacantepec, siendo este último el de mayor superficie y con mayor población dentro del área natural protegida (Toscana Aparicio y Granados Ramírez, 2015; Endara Agramont *et al.*, 2012; Conanp, 2016b).

El APFFNT se ubica en la provincia fisiográfica nombrada Faja Volcánica Transmexicana, que está formada por un sistema de cordilleras, siendo el Nevado de Toluca, un estratovolcán con rocas que han sufrido una gran intemperización, uno de los picos más altos (Conanp, 2016b). El andosol es el suelo dominante, que cubre cerca de 90% de la superficie del área protegida, aunque también cuenta con regosoles, cambisoles, leptosoles, feozems y, en menor medida, fluvisoles, lo que es característico debido a la existencia de rocas ígneas como las andesitas y basaltos, por mencionar algunas (Conanp, 2016b).

El clima en el Nevado de Toluca es de dos tipos. El E(T)Hwig, el cual se ubica a partir de los 3700 msnm, es un tipo de clima frío con una temperatura media anual

Figura 1
Ubicación de los predios de reforestación en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca



Fuente: Reyes (2019) con base en el trabajo de campo 2011-2015.

Tabla 1
Características físicas y biológicas de los sitios reforestados

Paraje	Tipo de vegetación	Altitud	Coordenadas centrales	Pendiente %	Grado de erosión	Tipo de erosión
Cerro Gordo	Bosque maduro de <i>Pinus hartwegii</i> y zacatonal de altura	3500m	19°07'24.35''N 99°49'22.56''W	25 a 30	Moderada	Laminar
Cerro Prieto	Bosque maduro de <i>Pinus hartwegii</i> y zacatonal de altura	3856m	19°06'05.47''N 99°47'38.29''W	25 a 30	Moderada	Laminar
Agua Blanca	Bosque maduro de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	3268m	19°05'24.72''N 99°50'08.41''W	15 a 20	Baja	Laminar
Loma Alta	Bosque maduro de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	3430m	19°10'32.44''N 99°49'13.37''W	15 a 20	Severa	Cárcavas y Laminar
San José de las Huertas	Bosque maduro de <i>Pinus hartwegii</i>	3797m	19°07'43.56''N 99°47'27.2''W	25 a 30	Moderada	Laminar
Latas Viejas	Bosque maduro de <i>Pinus hartwegii</i> y zacatonal de altura	3480m	19°06'41.33''N 99°49'39.14''W	10 a 20	Baja	Laminar
La Loba	Bosque maduro de <i>Pinus hartwegii</i>	3310m	19°06'24.57''N 99°50'25.19''W	15 a 20	Severa	Cárcavas y Laminar

Fuente: Reyes, Hernández y Calvillo, con base en el trabajo de campo 2011-2015.

entre -2 y 5 °C, régimen de lluvias en verano y presencia de nevadas en invierno; y el clima C(E)wíg, que se presenta entre los 2800 y 3700 msnm, que corresponde a un clima semifrío subhúmedo con una temperatura media anual que oscila entre -2 y 7 °C, con régimen de lluvias en verano (Conanp, 2016). En cuanto a la hidrología, el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca da pie a la formación de las regiones hidrológicas Lerma-Santiago y Balsas, con aproximadamente 61 arroyos y varias subcuencas, las cuales son de gran importancia ya que contribuyen a la recarga de mantos acuíferos que son aprovechados por la ciudad de Toluca y algunas zonas de la Ciudad de México (Conanp, 2016b).

Aunque los estudios sobre vegetación en el área natural no son numerosos se conoce que la vegetación del APFFNT es el resultado de la combinación de factores tales como la ubicación, la altitud, la geología, la edafología y la climatología y, de acuerdo con Rzedowski (1978), las especies clasificadas son bosque de coníferas que, según la especie dominante pueden ser de pino (*Pinus*), de oyamel (*Abies*), de oyamel-pino (*Abies-Pinus*), de pino-encino (*Pinus-Quercus*), de aile (*Alnus*), y pastizales (Conanp, 2016b).

Elaboración de Cartografía

Con el objetivo de concretar la sistematización de la información alfanumérica y espacial se generó, por medio de un sistema de información geográfica, la base de datos espacial de los eventos de reforestación. Para ello se realizó la georreferenciación de los predios en campo por medio de un sistema de posicionamiento global sub-métrico trazando la perimetral correspondiente a cada lote o parcela de reforestación. Se generó la tabla de atributos con las características del predio y datos específicos tales como nombre del predio/lote, región, estado, municipio, ejido, paraje, coordenada “X” del centroide, coordenada “Y” del centroide, año, fecha, superficie, número de árboles plantados, especie, densidad de plantación y supervivencia.

Una vez recabados estos datos, se utilizó el programa ArcGis 10.2 para su visualización, corrección (cuando fuera el caso) y edición. Los *shapes* realizados correspondieron a cada año de reforestación y fueron la base para evitar contabilizar árboles que se encontraran en predios contiguos —cuando fuera el caso— y así evitar errores en la estimación de la supervivencia. Las capas temáticas obtenidas tuvieron como parámetros cartográficos el sistema de coordenadas UTM, zona 14N, datum WGS 84.

Estimación de la supervivencia

Una vez georreferenciados los predios se procedió a estimar el porcentaje de supervivencia de cada plantación utilizando la fórmula propuesta por Conafor (2010), la cual permite tener una estimación cuantitativa del éxito de la plantación bajo la influencia de los factores del sitio.

Se obtuvo una muestra de 10% de los árboles plantados mediante un muestreo aleatorio simple. Se cuantificó la cantidad de los árboles vivos y muertos, así como su especie, altura y su vigor o estado de sanidad (únicamente para plantaciones correspondientes a los años 2014 y 2015). Una vez obtenida la cifra de árboles vivos y muertos, se aplicó la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de sobrevivencia por predio.

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \times 100$$

$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n m_i$ = Sumatoria de los datos de acuerdo con la variable a o m

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

a_i = Número de plantas vivas en el sitio de muestreo i

m_i = Número de plantas vivas y muertas en el sitio de muestreo i

Estimación del vigor de la planta

De acuerdo con Barchuk y Díaz (2000), el vigor es una variable que se obtiene de manera visual y proporciona información sobre el crecimiento, la salud o apariencia de la planta. En este caso, el vigor fue calculado únicamente para las reforestaciones realizadas durante los años 2014 y 2015, ya que anteriormente sólo se realizaba el conteo de la supervivencia como seguimiento para reportar a las empresas el estado de las reforestaciones por parte de la organización Reforestamos México, A. C. Se establecieron los siguientes valores para evaluar el vigor de las plantas utilizadas en los predios reforestados del Nevado de Toluca:

- Categoría 0. Plantas que ya se encontraban muertas por estrés hídrico, por una mala plantación o por defoliación (tallo cortado o ausente) (Barchuk y Díaz, 2000)
- Categoría 1. Plantas con signos de marchitamiento, plagas o enfermedades visibles, o con un estado de salud deficiente, sin llegar aún a la muerte
- Categoría 2. Plantas cuyas acículas no presentaban signos de marchitez, estrés hídrico, plagas o enfermedades visibles; es decir, que contaban con un buen estado de salud

Resultados

Número de predios y hectáreas reforestadas

Las acciones de reforestación realizadas en el APFFNT se evaluaron para los años 2011 al 2015. Se determinó que se reforestaron un total de 336.1 hectáreas, divididas en 144 predios, ubicados en siete parajes, los cuales pertenecen al municipio de Zinacantepec,

Estado de México. El área de los predios de reforestación varía dependiendo de la disponibilidad de espacio en los parajes, con superficies mínimas de 0.2 y máximas de poco más de 13 ha reforestadas. A pesar de que la mayor superficie reforestada correspondió a un predio ubicado en el paraje Cerro Prieto del año 2015, con una superficie de 40 ha, es necesario hacer una distinción de éste entre los demás, ya que la reforestación estuvo a cargo de las personas de la comunidad y ejidatarios y no por voluntarios de las empresas.

La mayoría de las plantaciones fueron realizadas en el paraje Cerro Prieto, con 88.8 ha reforestadas repartidas en 47 predios, seguido por el paraje Cerro Gordo, en el cual se reforestaron 69.5 hectáreas distribuidas en el mismo número de predios que el paraje anterior; en el paraje Agua Blanca se reforestaron un total de 62.6 ha en 21 predios, mientras que en el paraje Loma Alta la cantidad de hectáreas reforestadas fue de 38.2 ha en 11 predios.

Por otra parte, las menores áreas reforestadas se localizaron en los parajes Latas Viejas con 11 ha solamente, distribuidas en cinco predios; La Loba, con 27.3 ha en 11 predios, y San José de las Huertas, donde se reforestaron 5.8 ha en repartidas en 2 predios. El año en el que se reforestó la mayor cantidad de hectáreas fue 2015, con un total de 124.1 ha repartidas en 38 predios de los parajes Agua Blanca, Cerro Gordo, Cerro Prieto, La Loba y Loma Alta, mientras que en 2014 la superficie reforestada fue la más baja con solamente 41.4 ha en 28 predios de los parajes Agua Blanca, Cerro Gordo, Cerro Prieto, Latas Viejas y San José de las Huertas (Tabla 2).

Estimación de la supervivencia general promedio

Respecto a la determinación de la supervivencia promedio anual, 2015 fue el año en el que se registraron los valores más altos, con 87.1% de los árboles plantados, seguido por 2013, con 74% y, en tercer lugar, el año 2014 con 70.4% de supervivencia, mientras que los años con menor sobrevivencia fueron 2012 y 2011, 68.7 y 61.9% respectivamente (Figura 2a). El análisis de varianza arrojó diferencias significativas entre los diferentes años de reforestación ($\alpha=0.05$).

En el caso de la supervivencia general por parajes se encontró que Cerro Gordo fue el paraje que tuvo el menor porcentaje, con 63%, seguido por el paraje Agua Blanca con 74.4%. En el paraje Cerro Gordo se observó que la supervivencia disminuyó cuando las plantaciones fueron realizadas en zonas de pendiente pronunciada, la cual fue una característica recurrente en este paraje, además del mantenimiento inadecuado de la zona, ya que en algunos casos el zacatonal de algunos predios sobrepasó el metro de altura, impidiendo el libre crecimiento de los árboles. Por otro lado, en ambos parajes la presencia de ganado fue evidente, ya que, a pesar de estar cercados, se encontró ganado bovino en algunas visitas a campo que, además de compactar el suelo, se alimentaban de las plantaciones realizadas. Se atribuye la baja supervivencia en estos sitios a los factores ya mencionados.

Tabla 2
Número de hectáreas y predios reforestados en el APFFNT por paraje
y año de plantación

Año de plantación	Paraje	Superficie mínima reforestada	Superficie máxima reforestada	Superficie promedio	N° total de ha	N° total de predios
2011	Agua Blanca	1.0	7.5	3.6	14.6	4.0
	Cerro Gordo	0.2	4.4	1.4	24.1	17.0
	Loma Alta	0.3	4.3	1.7	5.0	3.0
2012	Agua Blanca	0.5	5.9	1.4	15.8	11.0
	Cerro Gordo	0.2	4.2	1.8	21.4	12.0
	Latas Viejas	0.9	1.8	1.7	5.1	3.0
	Loma Alta	5.7	5.7	5.7	5.7	1.0
2013	Agua Blanca	4.5	7.9	6.2	12.4	2.0
	Cerro Gordo	0.3	5.9	2.0	9.8	5.0
	Cerro Prieto	0.2	3.6	1.0	19.6	19.0
	San José de las Huertas	4.2	4.2	4.2	36.3	22.0
2014	Agua Blanca	0.6	5.7	3.1	7.0	3.0
	Cerro Gordo	0.3	3.3	1.2	12.9	11.0
	Cerro Prieto	0.2	3.1	1.2	14.8	12.0
	Latas Viejas	1.8	4.0	2.9	5.9	2.0
	San José de las Huertas	1.6	1.6	1.6	1.6	1.0
2015	Agua Blanca	0.5	13.1	6.8	13.6	2.0
	Cerro Gordo	0.5	0.8	0.7	1.3	2.0
	Cerro Prieto	0.5	40.2	3.4	54.4	16.0
	La Loba	0.5	10.0	2.5	27.3	11.0
	Loma Alta	1.0	12.0	3.9	27.5	7.0
				TOTAL	336.1	166

Fuente: Reyes y Hernández, con base en el trabajo de campo 2011-2015

En contraste, La Loba y Latas Viejas fueron los parajes que presentaron las mayores supervivencias con 82.9 y 81.2%, respectivamente, mientras que en los parajes Cerro Prieto y San José de las Huertas la supervivencia estimada fue de 80% para el primer sitio y 78.5% para el segundo; finalmente, en el paraje Loma Alta se estimó en 78.4% (Figura 2b). En los parajes La Loba, Latas Viejas y Loma Alta la pendiente fue menos pronunciada y se observaron grandes extensiones de terreno, prácticamente plano. En el caso específico de este último, durante el momento del conteo de la super-

vivencia se llevó a cabo una tala, por lo cual es necesario realizar nuevamente un conteo de los árboles en el sitio, ya que las plantaciones pudieron ser afectadas en ese momento por la caída y arrastre de los árboles talados.

Los predios de los parajes Cerro Prieto y San José de las Huertas se localizaron en las mayores altitudes (3900 a 4000 msnm) y, a pesar de que en algunos casos la pendiente fue pronunciada, no se pudo detectar la presencia de ganado, mientras que la altura de los pastos no sobrepasaba medio metro, pudiendo ser estos factores benéficos para lograr la supervivencia registrada, ya que en lugar de fungir como barrera para el crecimiento de los árboles, el zacatonal sirvió como protección ante las heladas que se presentaron en el sitio debido a su altitud. El análisis de varianza para esta variable arrojó diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

De tres especies que se utilizaron para reforestar, dos de ellas —*Pinus montezumae* y *Pinus hartwegii*— tuvieron cinco años de reforestación en la mayoría de los parajes, mientras que *Abies religiosa* se utilizó únicamente en las reforestaciones de los años 2011 y 2012 en siete predios de los parajes Loma Alta, Agua Blanca y Latas Viejas. *Pinus montezumae* fue la especie que presentó una mayor supervivencia promedio durante los cinco años de reforestación, con 73% de los árboles plantados, ya que fue también la especie más utilizada en las reforestaciones, seguida por *Abies religiosa* con 71% y, por último, *Pinus hartwegii* con 70%. Es importante mencionar que la supervivencia relativamente alta que presentó *Abies religiosa* puede deberse a que fue plantada solamente durante los dos años de reforestaciones ya mencionados anteriormente.

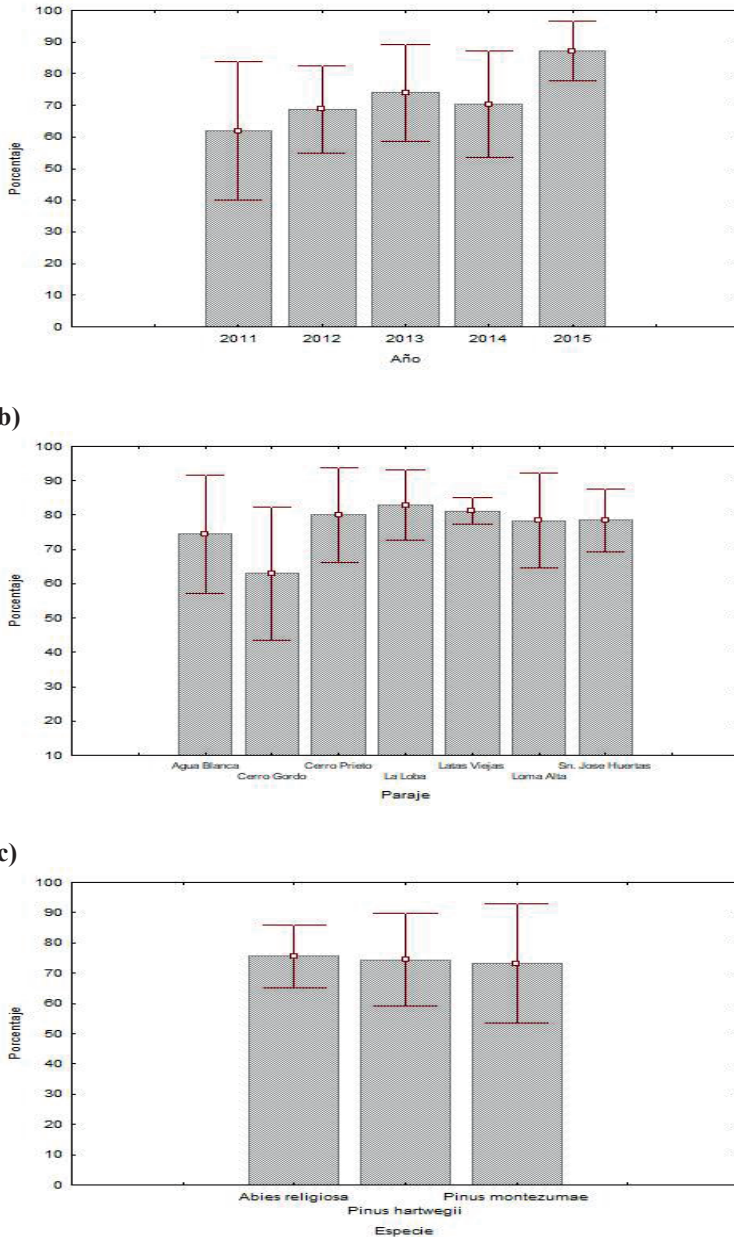
El análisis de varianza de estas variables no resultó estadísticamente significativo ($\alpha=0.05$), ya que se puede observar que los valores de la media son similares; dado que no existe heterogeneidad entre los grupos, se puede precisar que la sobrevivencia no dependió de la especie utilizada y que los valores obtenidos pueden estar dados por otros factores (Figura 2c).

A pesar de ser *Pinus hartwegii* la especie dominante a más de 3500 msnm, se utilizó en algunas de las reforestaciones *Pinus montezumae*, al estar mejor adaptada a altitudes menores, entre 3000 y 3200 msnm (Conanp, 2016b). Las plantaciones de *Abies religiosa* se llevaron a cabo en parajes con altitudes entre 3400 y 3450 msnm (Conanp, 2016), mientras que esta especie crece entre los 2800 y 3400 msnm, por lo cual las plantaciones se pueden considerar como realizadas en parajes con condiciones óptimas para el crecimiento de esta especie.

Estimación de la supervivencia promedio por paraje y año

Respecto a la descripción de la supervivencia por paraje es necesario resaltar que las plantaciones no se realizaron todos los años en el mismo sitio, razón por la cual algunos predios tendrán datos sólo de algunos años específicos. En paraje Agua Blanca fue el único en el que se llevaron a cabo acciones de restauración durante los cinco años, y el año con la mayor supervivencia fue el 2014 (90%) en contraste con el año 2013, en el que se contabilizó la menor supervivencia (38%).

Figura 2
Supervivencia promedio (± 1 desviación estándar): a) anual, b) por paraje
y c) por especie utilizada durante los eventos de reforestación en el APFF



Fuente: Reyes y Hernández, con base en el trabajo de campo 2011-2015.

Por otro lado, Latas Viejas y San José de las Huertas fueron los parajes en los que se realizaron acciones de restauración solamente durante dos años, en 2012 y 2014 para Latas Viejas, y en 2013 y 2014 para San José de las Huertas. En Latas Viejas, en ambos años se obtuvieron supervivencias similares con 82% en 2012 y 81% en 2014, mientras que para el segundo paraje se obtuvo que el año 2014 fue el de mayores supervivencias con un 85% y el 2013 el de menor supervivencia estimada en 72%.

En el paraje La Loba, las reforestaciones se comenzaron a realizar a partir del año 2015, por lo cual su supervivencia fue estimada en 83%, la más alta de la región, posiblemente por tratarse de una zona con pendientes suaves y de plantaciones con poco tiempo de haberse realizado al momento de contar la supervivencia. El paraje de Cerro Gordo fue el segundo con más años de reforestación. El año con mayor supervivencia fue 2013 con 74% y el de menor, 2011, con sólo 56%; cabe resaltar que este paraje fue el que obtuvo la menor supervivencia total de todos los sitios por las razones que ya se mencionaron con anterioridad. Para el sitio Loma Alta se estimó que el año de menor supervivencia fue 2011, con 67% y el de mayor fue 2015, con 83%. Finalmente, en el paraje Cerro Prieto se realizaron reforestaciones durante tres años, de los cuales, el año 2015 fue el que presentó la mayor supervivencia, con 91%, y el año 2014 fue el que obtuvo los menores valores con 68% (Figura 3).

Estimación de la supervivencia por especie y año

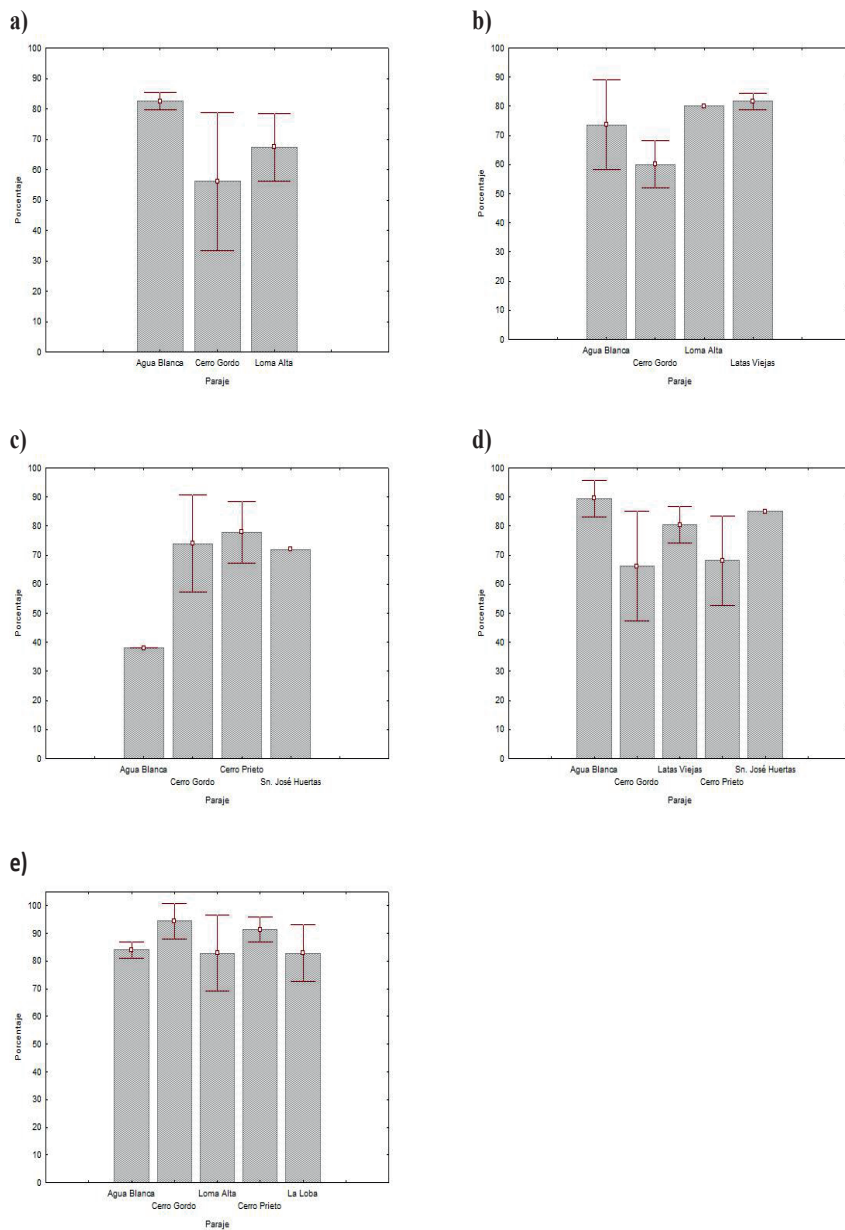
En cuanto a la estimación de la supervivencia por especies se pudo observar un patrón similar entre *P. montezumae* y *P. hartwegii* en el año 2015; *P. montezumae* con 89% y *P. hartwegii* 86%; en contraste, *P. hartwegii* registró las menores supervivencias en 2014, con un 54%, mientras que *P. montezumae* lo hizo en 2011, con 60%.

Como ya se mencionó anteriormente, *Abies religiosa* fue la especie menos utilizada en las acciones de reforestación, pues se utilizó solamente en dos años, siete reforestaciones y tres parajes (Loma Alta, Latas Viejas y Agua Blanca), siendo el año 2012 el que presentó una mayor supervivencia (81%), mientras que el de menor fue el año 2011 (61%) (Figura 4).

Estimación del vigor para los años 2014 y 2015

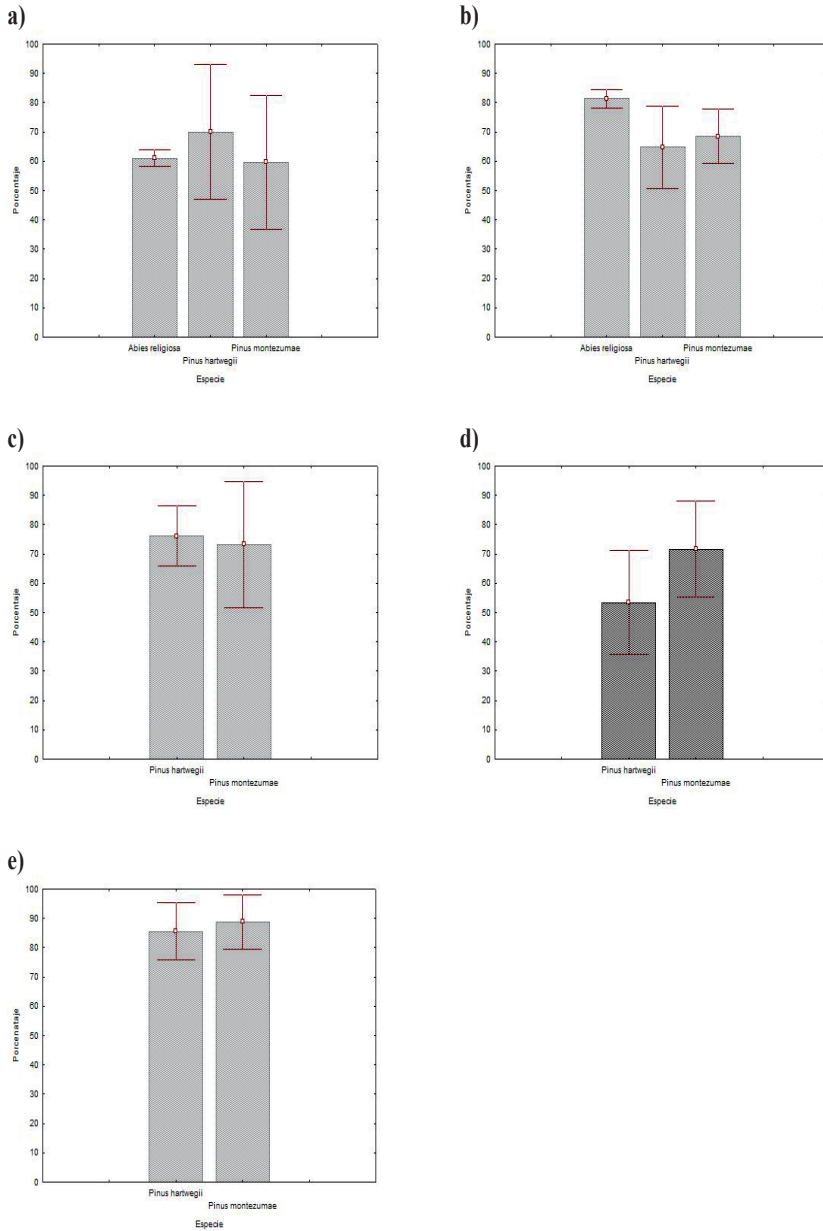
El vigor promedio de las plantas para las reforestaciones llevadas a cabo durante el año 2014 fue de 1.5, por lo que, en general, el estado de las plantas resultó satisfactorio; sin embargo, en este año la mortandad de plantas fue mayor que en 2015, con un promedio de 29% de los árboles plantados muertos. Para el año 2015, el vigor promedio fue de 1.3, el cual indica que las plantas de este año presentaron un estado de salud más deficiente que en el año anterior. A pesar de esto, la mortandad de plantas se contabilizó únicamente en 13% del total de la plantación realizada en ese año.

Figura 3
Supervivencia promedio anual por paraje (± 1 desviación estándar):
a) año 2011; b) año 2012; c) año 2013 d) año 2014 y e) año 2015



Fuente: Reyes y Hernández, con base en el trabajo de campo 2011-2015.

Figura 4
Supervivencia promedio anual por especie (± 1 desviación estándar):
a) año 2011; b) año 2012; c) año 2013 d) año 2014 y e) año 2015



Fuente: Reyes y Hernández, con base en el trabajo de campo 2011-2015.

Discusión

Al igual que en el caso de Barchuk y Díaz (2000), los porcentajes de supervivencia fueron similares entre especies; sin embargo, variaron entre los parajes. Se encontró que los factores limitantes para el crecimiento de las plantas fueron las pendientes pronunciadas, un mal mantenimiento y suelos compactados al igual que en el caso de Ramírez López *et al.*, (2011). Por lo tanto, es necesario realizar acciones con anterioridad, como aflojar el suelo para permitir que las raíces penetren en él y se promueva el almacenamiento de humedad, favoreciendo el rápido crecimiento y desarrollo de las plantas (Ramírez López *et al.*, 2011).

De acuerdo con Ramírez López *et al.*, (2011) quienes mencionan que las reforestaciones realizadas por la sociedad civil presentan limitaciones para su análisis al no ser parte de un diseño experimental, proporcionan evidencias y registros que contribuyen a determinar el comportamiento de las especies utilizadas para la restauración del paisaje en un ambiente específico. En este caso de estudio, la evaluación de tan sólo un elemento que interactúa con la restauración del paisaje, definido como índice de supervivencia, arroja resultados que permiten modificar las estrategias emprendidas por dichas organizaciones.

Sin embargo, es importante recapitular que los procesos ecológicos requieren de estudios, datos y generación de información pertinente para que las actividades no queden aisladas y tengan un impacto mucho más estratégico, de tal forma que la vinculación con actores que promueven estudios de evaluación resulte en la generación de información valiosa en la toma de decisiones.

La selección del predio es una de las primeras actividades que las instituciones involucradas deben generar para establecer criterios claros y fundamentados en principios ecológicos y, así, seleccionar los espacios más importantes para ser intervenidos. Es importante tener presente el objetivo de la reforestación, por lo cual es recomendable realizar con anterioridad recorridos en campo para conocer las características del lugar, así como los factores que podrían resultar perjudiciales para la plantación (Conafor, 2010).

Si bien una buena elección del sitio estaría definida por la estrategia a emprender para iniciar el proceso de restauración —para lo cual el conocimiento de la dinámica ecológica sería fundamental— es importante recalcar que los tipos de vegetación que se desarrollan en nuestro territorio varían en su composición, función y estructura, elementos que son fundamentales para preservación principalmente de la biodiversidad.

Este elemento va de la mano con la selección de la especie que se va a introducir, considerando primeramente utilizar especies nativas (Conafor, 2010), pues una de las acciones preocupantes de este trabajo fue la utilización de especies que no crecen dentro de los rangos de altitud en el que fueron plantadas, como en el caso de *Pinus montezumae* que, de acuerdo con la Conanp (2010), se establece en altitudes que van desde los 3000 y 3200 msnm. Sin embargo, durante las reforestaciones, esta planta fue utilizada en parajes de Cerro Prieto y San José de las Huertas, que se localizan a altitudes mayores

(3900 a 4000 msnm), por lo cual podría ser un factor limitante en la supervivencia de esta especie. Asimismo se sugiere realizar una investigación previa de las especies que se utilizarán para la reforestación y de las condiciones óptimas para su desarrollo y de esta manera mejorar los índices de supervivencia. Un reto es la falta de planta disponible en los viveros del estado y federales para emprender dichas acciones de reforestación, poniendo sobre la mesa la procedencia del germoplasma y su medio de producción, tarea que debe ser atendida de manera eficaz y eficiente por la dependencia encargada.

Por otro lado, el papel de los ejidos y comunidades es un elemento clave en el proceso de manejo de una región, especialmente cuando estas personas viven de los recursos del bosque. Por esta razón, considerar involucrar a los actores locales en la toma de decisión y planeación de los procesos de restauración de los ecosistemas debería ser obligado.

Una de las discusiones pendientes está relacionada al fin de las reforestaciones, pues muchas de las personas, al vivir de la madera, estarían solicitando la procuración de las especies que utilizan para este fin. Sin embargo, muchas veces las especies que se utilizan para las reforestaciones no necesariamente posibilitan mantener la secuencia del manejo del bosque, además de que las políticas públicas relacionadas a las Áreas Naturales Protegidas muchas veces son limitativas.

Finalmente, un aspecto fundamental que se debe contemplar en los programas nacionales de reforestación realizados por cualquier instancia es el relacionado con la variación climática. Actualmente, el comportamiento del clima es un tema a evaluar desde la perspectiva geográfica, pues los pronósticos y modelos climáticos están evidenciando una posible incidencia de eventos extremos en donde se verían vulnerados los avances en temas de restauración, poniendo en riesgo la inversión social y económica que se ha hecho en estos espacios.

Conclusiones

Durante los cinco años de las plantaciones, la mortandad máxima apenas sobrepasó 38%, lo que aseguró que más del 60% de los árboles plantados continuaron su crecimiento, ya que los resultados del análisis de varianza para los porcentajes de sobrevivencia por año resultaron estadísticamente significativos ($\alpha=0.05$).

Por otro lado, a pesar de que el análisis de varianza no arrojó diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$) en el caso de las especies utilizadas, las condiciones del sitio sí influyeron en la sobrevivencia de las especies, por lo cual se puede inferir que las especies utilizadas resistieron favorablemente las condiciones físicas y ambientales de los sitios reforestados, a pesar de que en algunos casos no se establecieron en sus rangos de altitud como menciona el plan de manejo del APFFNT.

Respecto a los sitios elegidos para las acciones de restauración, en las áreas con mayores pendientes y con mayor degradación es importante considerar la generación de obras de conservación de suelo previas a la reforestación, ya que inciden negativa-

mente en la supervivencia de las plantas. Se sugiere identificar aquellas zonas en donde la mortalidad ha sido recurrente y no considerarlas como sitios aptos para la reforestación, ya que sus condiciones de pendiente, ubicación y otras no las hacen aptas para tal fin. Además, se sugiere considerar el número de árboles por hectárea y el porcentaje de supervivencia que se está obteniendo para determinar la cantidad de árboles a plantar y, así, asegurar que una mayor cantidad puedan llegar a la edad adulta.

Los indicadores del éxito de las acciones de restauración brindan herramientas que ayudan a la toma de decisiones respecto a las acciones más convenientes a realizar; con ello se generaría un impacto en el territorio de manera más congruente en el ámbito ambiental. Para ello, se recomienda realizar restauración en áreas identificadas como prioritarias, propiciar menor cantidad de cambios en la dinámica ecológica que genere resultados inesperados —para lo cual se pueden realizar acciones como la producción local y reforestación con plantas nativas (arbóreas y no arbóreas)— así como promover la colocación de varias especies por evento e implementar acciones que implican un menor esfuerzo con los mismos resultados —por ejemplo, propiciar la regeneración natural por métodos como manejo de árboles padre a través de cercados, realización de quemas prescritas y la elaboración de bolitas de semilla de pastos—.

Este trabajo demuestra que, a pesar de no ser un experimento controlado, es necesario evaluar las acciones realizadas para la conservación, en este caso, de los bosques del Nevado de Toluca mediante la obtención de indicadores ambientales que, si bien sirven como evidencia del trabajo realizado por el sector empresarial y la sociedad civil, determinan el impacto ambiental que tienen estas acciones. Por lo tanto, no deben quedar únicamente como un registro de las empresas que participaron, sino realmente cumplir con el objetivo de ayudar a la conservación.

Finalmente, se hace énfasis en la aplicación del conocimiento geográfico en este tipo de acciones de restauración a través del análisis físico del paisaje con el objetivo de determinar aquellas zonas que han sufrido cambios importantes a lo largo del tiempo debido a la acción principalmente antrópica. Conocer las condiciones físicas (bióticas y abióticas) de una región, en este caso del Nevado de Toluca, permite la toma de decisiones respecto a las acciones a emprender para la conservación de los ecosistemas. Esto forma parte de un trabajo integral que permite la valoración de otros indicadores que den respuesta a las problemáticas de degradación ambiental en ésta y otras áreas protegidas de México.

Bibliografía

- BARCHUK, A., y DÍAZ, M. (2000). “Vigor de crecimiento de plantaciones de *Aspidosperma* quebracho-blanco y de *Prosopis chilensis* en el Chaco árido”. *Revista de ciencias forestales*, 8, 17-29.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP). (2016a). *Áreas Naturales Protegidas Decretadas* (en línea). Secretaría de Medioambiente y Recursos

- Naturales. Recuperado el 21 de agosto de 2019 de <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protégidas-decretadas>
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP). (2016b). “Programa de manejo Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca” (en línea). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 10 de febrero de 2019 de [https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2017/PM%20Nevado%20de%20Toluca%20-\(web\).pdf](https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2017/PM%20Nevado%20de%20Toluca%20-(web).pdf)
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP). (2017). *Las áreas naturales protegidas. Respuestas naturales frente al cambio climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). (2010). *Manual básico de prácticas de reforestación*, Comisión Nacional Forestal.
- CUEVAS REYES, Pablo. (2010). “Importancia de la Resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad”. *Biológicas*, 12(1), 1-7.
- ENDARA AGRAMONT, Ángel Rolando; NAVA BERNAL, Gabino; FRANCO MAASS, Sergio; ESPINOZA MAYA, Alejandra; ORDOÑEZ DÍAZ, José Antonio Benjamín; NAVA BERNAL, Gabino Eufemio; y MALLÉN RIVERA, Carlos. (2012). “Extracción de madera en el Parque Nacional Nevado de Toluca”. *Revista Mexicana de ciencias forestales*, 3(11), 81-90.
- GRANADOS SÁNCHEZ, D.; LÓPEZ RÍOS, G.; y HERNÁNDEZ GARCÍA, M. A. (2007). “Ecología y silvicultura en bosques templados”. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1), 67-83.
- RAMÍREZ LÓPEZ, Alejandro; NAVARRO GARZA, Hermilo; PÉREZ OLVERA, Antonia; y CETINA ALCALÁ, Víctor Manuel. (2011). “Experiencia organizativa para la reforestación con *Pinus oaxacana* Mirov. en suelos degradados de la Mixteca Oaxaqueña”. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(7), 57-70.
- REGIL GARCÍA, Héctor Hugo; FRANCO MAASS, Sergio; ORDOÑEZ DÍAZ, José Antonio Benjamín; NAVA BERNAL, Gabino Eufemio; y MALLÉN RIVERA, Carlos. (2013). “Procesos de deforestación y reducción del arbolado del Parque Nacional Nevado de Toluca”. *Revista Mexicana de ciencias forestales*, 5(23), 42-63.
- ROSETE VERGÉS, Fernando; PÉREZ DAMIÁN, José Luis; VILLALOBOS DELGADO, Mariano; NAVARRO SALAS, Elda; SALINAS CHÁVEZ, Eduardo; y REMOND NOA, Ricardo. (2014). “El avance de la deforestación en México 1976-2007”. *Madera y bosques*, 21(35), 21-35.
- SÁNCHEZ, Oscar. (2005). *Restauración ecológica: algunos conceptos, postulados y debates al iniciar el siglo XXI* (en línea). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado el 18 de febrero de 2019 de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/467/sanchez.html>
- THOMPSON, I. (2011). “Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal”. *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 62(238), 25-30.

- TOBÓN, Wolke; KOLEFF, Patricia; URQUIZA-HAAS, Tania; y GARCÍA MÉNDEZ, Georgina. (2016). “Propuesta metodológica para identificar prioridades de restauración en México”. En E. Ceccon y C. Martínez-Garza (eds.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias – UNAM; CONABIO. 18-36.
- TOSCANA APARICIO, Alejandra, y GRANADOS RAMÍREZ, Rebeca. (2015). “Recategorización del Parque Nacional Nevado de Toluca”. *Revista Política y Cultura*, 44, 79-105.
- WILLIAMS LINERA, Guadalupe; ÁLVAREZ AQUINO, Claudia; MUÑOZ CASTRO, Miguel Ángel; y AMELIA PEDRAZA, Rosa. (2016). “Evaluación del éxito de la restauración del bosque nublado en la región de Xalapa Veracruz”. En E. Ceccon y C. Martínez-Garza (eds.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias – UNAM; CONABIO. 81-101.